

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Inovace laboratorních úloh pro měření elektrických strojů
točivých**

Laboratory job innovation for electric rotating machine measurement

2018

Karel Zielonka

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Karel Zielonka**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Inovace laboratorních úloh pro měření elektrických strojů točivých.**
Laboratory Job Inovation for Electric Rotating Machine Measurement.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Popis laboratorního pracoviště.
Související předpisy a normy, bezpečnost práce.
Rozbor základních laboratorních úloh pro měření parametrů vybraného elektrického stroje.
Provedení měření, vyhodnocení, vytvoření dokumentace - návodů a vzorových protokolů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Bašta, Kulda, Pavlásek, Měření na elektrických strojích. SNTL Praha - 1962
Hrabovcová, Rafajcus, Franko, Hudák, Meranie a modelovanie elektrických strojov, Edis Žilina - 2014
ČSN 35 0301, ČSN EN 60034-2,4,8,12,28
Další dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 27. dubna 2018



.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Petru Bernatovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá elektrickými zkouškami asynchronního motoru na novém laboratorním pracovišti v učebně elektrických strojů EB018. Vychází se z podmínek určených v technických normách, které jsou detailně popsány v teoretické části. Dále je v teoretickém rozboru uveden popis nového laboratorního pracoviště, které je vytvořeno ke zkoušení elektrických strojů točivých. Zkoušky se ovládají pomocí virtuálního panelu vytvořeného ve vývojovém prostředí LabView. V praktické části je provedeno samotné měření elektrických zkoušek a vytvořen návod na postup měření. Dále jsou vytvořeny vzorové protokoly k jednotlivým úlohám.

Klíčová slova

Asynchronní stroj; technické normy; zkoušení asynchronního stroje; laboratorní pracoviště;

Abstract

Bachelor thesis deals with electrical tests of asynchronous motor at new laboratory workplace in the classroom of electric machines EB018. It is based on the conditions specified in the technical standards, which are described in detail in the theoretical part. Further, the theoretical analysis describes the new laboratory workplace, which is designed to test electric rotary machines. The tests are controlled using a virtual panel created in the LabView development environment. In the practical part is made the electrical measurement and the measurement procedure. In addition, sample protocols are created for each task.

Key words

Asynchronous machine; technical standarts; asynchronous machine testing; laboratory workspace

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
I	A	Proud
F	N	Síla
B	T	Magnetická indukce
l	m	Délka
cosφ	-	Účíník
P₁	W	Příkon
P₂	W	Výkon
ΔP_{j10}	W	Ztráty v statorovém vinutí
ΔP_k	W	Konstantní ztráty
ΔP_{fe}	W	Ztráty v železe
R_{llm}	Ω	Odpor mezi fázemi
R_s	Ω	Odpor statorového vinutí
R_{fe}	Ω	Odpor v železe
M	Nm	Moment
n	ot/min	Otáčky
η	%	Účinnost
s	%	Skluz
i₀	%	Proc. proud naprázdno
u_k	%	Proc. napětí nakrátko

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
ČSN	Česká technická norma
EN	Značka přejímané evropské normy
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
AC	Střídavý proud
DC	Stejnoseměrný proud
FFT	Rychlá Fourierova transformace

Obsah

Úvod.....	- 11 -
1 Asynchronní stroje	- 12 -
1.1 Princip činnosti.....	- 12 -
Vznik tažné síly	- 12 -
1.2 Konstrukce	- 13 -
Grafické zobrazení v řezu.....	- 13 -
2 Zkoušení asynchronního stroje.....	- 14 -
2.1 Význam a rozsah zkoušek	- 14 -
2.2 Požadavky	- 14 -
Zkušebna	- 14 -
Teplota.....	- 14 -
Kmitočet a napětí.....	- 15 -
Měřicí přístroje	- 15 -
2.3 Druhy zkoušek.....	- 15 -
2.4 Měření naprázdno.....	- 17 -
Teorie měření	- 17 -
Postup měření.....	- 18 -
Zpracování výsledků měření	- 18 -
2.5 Měření nakrátko	- 20 -
Teorie měření	- 20 -
Postup měření.....	- 20 -
Zpracování výsledků měření	- 21 -
2.6 Měření zatěžovacích charakteristik	- 22 -
Teorie měření	- 22 -
Postup měření.....	- 22 -
Zpracování výsledků měření	- 23 -
3 Laboratorní pracoviště.....	- 24 -
3.1 Technologické části.....	- 24 -
Zdroj EMS- 1 50.....	- 24 -
Zkušební stůl se zatěžovatelem	- 25 -
Připojovací rozhraní	- 26 -

Operátorské rozhraní	- 27 -
3.2 Bezpečnost práce.....	- 27 -
Kódování barev sdělovačů	- 27 -
Zásady při měření.....	- 27 -
Zajištění pracoviště.....	- 28 -
4 Měření základních zkoušek asynchronního motoru.....	- 29 -
4.1 Měření naprázdno.....	- 30 -
Postup měření.....	- 30 -
4.2 Měření nakrátko	- 34 -
Postup měření.....	- 34 -
4.3 Měření zatěžovacích charakteristik.....	- 37 -
Postup měření.....	- 37 -
4.4 Měření regulačních charakteristik.....	- 42 -
Postup měření.....	- 43 -
4.5 Měření momentové charakteristiky.....	- 48 -
Postup měření.....	- 48 -
Závěr	- 53 -
Použitá literatura	- 54 -
Seznam příloh.....	- 55 -

Úvod

Bakalářská práce se zabývá elektrickými zkouškami asynchronního motoru na novém laboratorním pracovišti v laboratoři elektrických strojů EB018.

Teoretická část je rozdělena do tří základních bodů. V prvním bodu je vytvořen základní popis funkce asynchronního motoru a vysvětlení vzniku tažné síly. V druhém bodě jsou popsány normativní požadavky na zkušebny a měřicí přístroje pro zkoušení elektrických strojů. Dále jsou zde vytvořeny návody na postup správného měření jednotlivých úloh, které jsou uvedené v ČSN. Poslední bod teoretické části je zaměřen na popis laboratorního pracoviště, které je vytvořeno ke zkoušení elektrických strojů a seznámení se s jednotlivými technologickými prvky, které se v něm nacházejí. Dále je zde uvedena bezpečnost práce v laboratoři a pokyny pro zajištění pracoviště.

Praktická část je zaměřená na ovládání laboratorního pracoviště, které je vytvořeno pomocí virtuálního panelu ve vývojovém prostředí LabView. Virtuální panel je vytvořen pomocí dvou obrazovek, na kterých lze sledovat aktuální naměřené hodnoty a zároveň ovládat zatěžovatel spolu se zkoušeným strojem. Pro rychlou orientaci v prostředí jsou zde vytvořeny návody na zkoušení asynchronního motoru naprázdno, nakrátko a zatěžování. V příloze jsou vloženy vzorové protokoly jednotlivých úloh, které mohou sloužit jako předloha pro studenty mladších ročníků.

1 Asynchronní stroje

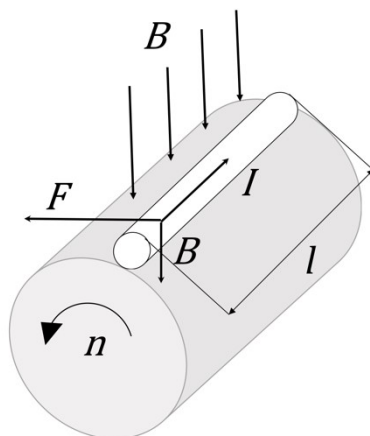
Asynchronní stroje jsou díky své jednoduché konstrukci, vysokému výkonu a nenáročné údržbě jedny z nejpoužívanějších elektrických strojů. Nejrozšířenější typ stroje je v motorickém stavu, kdy hlavní využití je především pro pohon jeřábů, pásových dopravníků a dalších odvětvích strojního průmyslu. [1]

1.1 Princip činnosti

Při trojfázovém rozložení satorového vinutí a vzájemném prostorovém posunutí o 120° elektrických, napájených trojfázovou souměrnou soustavou proudů, vzájemně časově posunutých o 120° se ve vzduchové mezeře vytváří točivé magnetické pole. Jeho rychlost závisí na napájecí frekvenci sítě a počtu pólových dvojic stroje. Točivé magnetické pole protíná tyče rotorového vinutí a indukuje v něm napětí. Uzavřené vinutí rotoru způsobí, že kotvou začne protékat elektrický proud. Vytvoří se magnetické pole rotoru a vzájemným působením magnetického pole satoru a rotoru způsobí, že se rotor začne točit ve směru točivého magnetického pole. Jeho rychlost se v reálném stavu nikdy nedostane na rychlost magnetického pole satoru, jelikož by se v rotoru přestalo indukovat napětí a přestal by protékat elektrický proud. To by zapříčinilo, že by stroj nevyvíjel žádný moment. Rozdíl rychlostí magnetického pole satoru a otáčkami rotoru je definován skluzem.[1]

Vznik tažné síly

Vložení rotorových závitů spojených nakrátko do točivého magnetického pole satoru způsobí, že velikost magnetického toku procházejícího plochou stojícího závitu se během otáčení mění. Díky tomu se indukuje napětí, které jimi protlačuje značný proud a vzájemným působením těchto polí je vyvolána hybná síla, která se přenáší na hřídel motoru. Zobrazení vzniku tažné síly na jednom rotorovém závitě je znázorněno níže v obrázku 1.1



Obrázek 1.1: Vznik tažné síly na jedné rotorové tyči

Výsledná hybná síla působící na jedné rotorové tyči je daná vztahem:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (1.1)$$

kde B je indukce točivého magnetického pole statoru

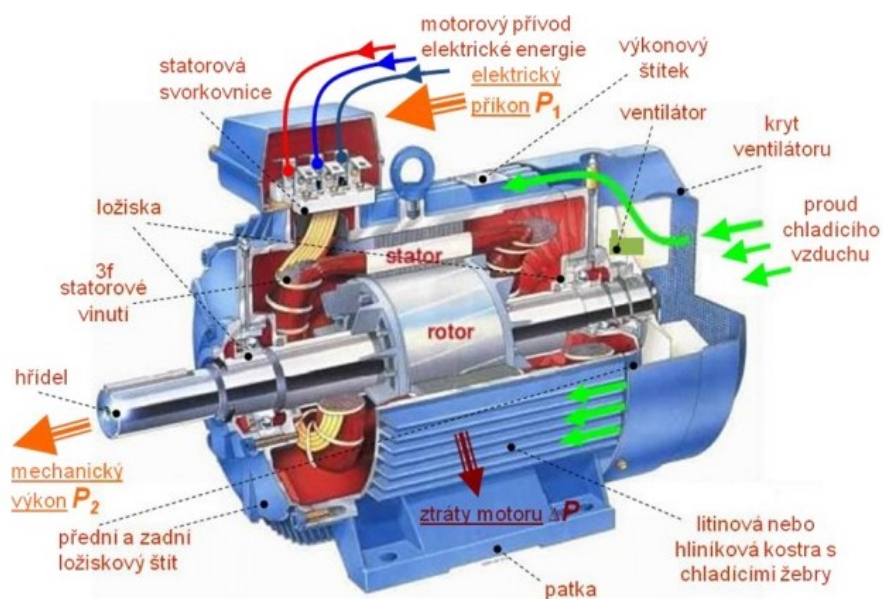
I proud tekoucí závitem

l délka rotorové tyče

Cívka se vlivem hybné síly F vychýlí ze své pozice. Dříve než se dostane kolmo na cívku, která na ní působí svým magnetickým polem je uchopena polem vedlejší cívky, takže se rotor začne otáčet. [1]

1.2 Konstrukce

Grafické zobrazení v řezu



Obrázek 1.2: Řez trojfázovým asynchronním motorem [3]

2 Zkoušení asynchronního stroje

Všeobecná norma, která se zabývá zkouškami všech elektrických strojů točivých se nazývá ČSN 35 0010. Pro správné zkoušení asynchronního motorů je vytvořena doplňující norma ČSN 350301, která stanovuje zkušební metody trojfázových asynchronních motorů. Tato norma není omezená výkonem, napětím a otáčkami zkoušeného stroje. Jelikož při bakalářské práci je měřen nízkonapěťový asynchronní motor nakrátko, vztahuje se na něj norma ČSN EN 60034-28, která řeší zkušební metody určování veličin pro náhradní obvodová schémata trojfázových nízkonapěťových asynchronních motorů nakrátko.

Zkoušky se nejčastěji provádějí na zkušebně výrobce, nebo na jiné zkušebně. Možnost provedení zkoušek je i na místě montáže. Pokud nelze zkoušky provést na uvedených místech stanoví se náhradní zkoušky.

2.1 Význam a rozsah zkoušek

Zkoušky jsou prováděny kvůli ověření a podání důkazu o tom, že stroj splňuje všechny mechanické a elektrické požadavky určené příslušnými normami. Další možné požadavky, které musí stroj splňovat jsou dané dohodou mezi výrobcem a odběratelem.

Rozsah typové a kontrolní kusové zkoušky je uveden v normě ČSN 35 0000 část 1-1, která určuje doplňující požadavky pro zkoušený stroj a určuje všechny dílčí zkoušky dané zkoušky. Další možné zkoušky, které musí být na stroji provedeny jsou určovány dohodou mezi výrobcem a odběratelem.

2.2 Požadavky

Stroje, které se podrobují zkoušení musí být vysušené zaběhnuté a seřizené tak, aby realizovaly jejich skutečný stav při provozu. Krytí stroje, které ovlivňuje výsledek zkoušky se během zkoušení nesmí měnit.

Zkušebna

Zkušebna by měla být čistá, světlá, tichá a prostorná, bez náhlých změn teplot a bez otřesů. Žádné vnější vlivy nesmějí ovlivnit výsledky měření, rovněž zkušebny musí splňovat požadované normy a předpisy. Bezpečnostní předpisy při provozu jsou ČSN 34 3100 a ČSN 343105.

Teplota

Jednotlivé zkoušky se musí provádět při dosažení stanovených tepelných podmínek. Teplota okolí při zkoušce nesmí přesáhnout interval od +10 až +40 °C a ideální teplotní rozsah je od +15 až +25 °C, pokud není stanoveno jinak. Není-li možné dodržet teplotu v požadovaném intervalu, musí se provést přepočet výsledku na požadovanou teplotu. Teplota okolí při měření se musí uvést do zkušebního protokolu.

Kmitočet a napětí

Tvar napájecího napětí musí být symetrický a sinusový podle normy ČSN EN 60034-1, skutečný kmitočet se může od stanoveného zkušební kmitočtu lišit v rozmezí $\pm 0,3 \%$. Pokud je motor napájený ze statických měničů, tak se tvar křivky a kmitočet jmenovité napětí volí na základě dohody.

Měřicí přístroje

Měřicí přístroje elektrických veličin, otáček a kmitočtu musí splňovat třídu přesnosti 0,5 a vyšší podle IEC 60051-1. Třída přesnosti pro měření odporu musí být 0,1. Přístrojové transformátory musí splňovat třídu přesnosti 0,2. Přístroje pro měření teploty musí splňovat přesnost $\pm 1^\circ\text{C}$. Ručkové měřicí přístroje musí splňovat třídu přesnosti 0,5 a jejich rozsah se volí tak, aby ručička ukazovala hodnoty vyšší, než je 30 % z celkového rozsahu stupnice.

2.3 Druhy zkoušek

Podle normy ČSN 35 0010 se na točivých elektrických strojích provádí následující zkoušky:

a) Typová zkouška

Určuje se, zda zkoušený stroj splňuje všechny požadavky na příslušné normy a další požadavky určené mezi odběratelem a výrobcem. Dále se ověřují charakteristiky a ostatní vlastnosti stroje, jejichž vliv by mohl ovlivnit jeho používání. Stroj musí vyhovět všem dílčím zkouškám, které byly provedeny. Výsledkem je zkušební protokol, který obsahuje všechny potřebné záznamy ze zkoušek a musí se zachovat po dobu nejméně 10 let.

b) Přejímací zkouška

Tato zkouška se provádí jen v případě, že byla písemně sjednaná mezi odběratelem a výrobcem. Provádí se při převímce a její obsah odpovídá kontrolní kusové zkoušce.

c) Kontrolní kusová zkouška

Určuje, zda vlastnosti zkoušeného stroje odpovídají údajům se schváleným typem. Záznamy ze zkoušky se musí uchovat po dobu alespoň 5 let.

d) Základní mechanické zkoušky

Kontrolují, jestli je stroj v dobrém technickém stavu a nejsou na něm závady ohrožující správný chod stroje. Pod zkoušku spadá také příslušenství nutné pro správný chod stroje. Základní mechanické zkoušky se rozdělují na prohlídku, kontrolu rozměrů a kontrolu chodu stroje. Velikost a souměrnost vzduchové mezery se kontroluje, pokud je to technicky možné. U asynchronních motorů s výkonem do 100kW kontrola není nutná. Hromadně vyráběné stroje musí zkontrolovat: výkonnostní štítek, svorkovnice, dosedací plochy, šroubové spoje, vzduchovou mezeru, volný chod rotoru, nastavení a chod sběracího ústrojí.

e) Měření mechanických veličin

Mezi základní mechanické veličiny patří měření otáček, skluzu, kmitání, hluku, momentu a množství chladičového vzduchu.

f) Základní elektrické zkoušky

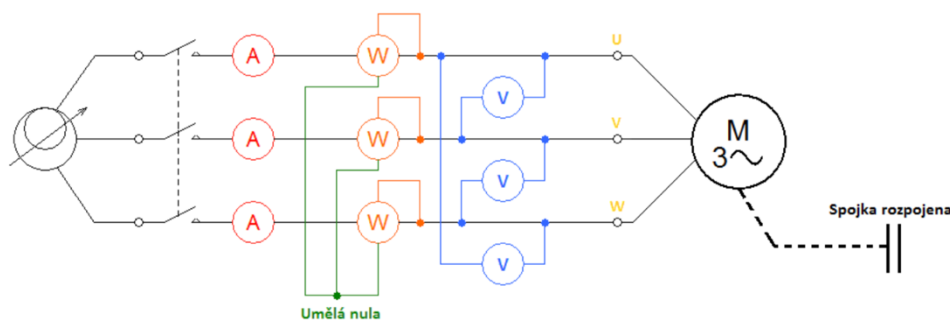
Základní elektrické zkoušky, které se na strojích musí provést jsou:

- Měření činného odporu vinutí
- Zkouška elektrické odolnosti vinutí přiloženým napětím
- Měření izolačního odporu
- Měření naprázdno
- Měření nakrátko
- Měření charakteristik při zatížení
- Zkouška přetížitelnosti
- Zkouška komutace
- Zkouška říditelných vlastností
- Oteplovací zkouška
- Určení účinnosti
- Rozběhové zkoušky

V další části jsou detailně popsány pouze zkoušky, které jsou měřeny v praktické části bakalářské práce, a to měření naprázdno, nakrátko a zatěžovací charakteristiky. [4], [5]

2.4 Měření naprázdno

Při měření naprázdno se zjišťuje proud a ztráty naprázdno. Ztráty naprázdno jsou výsledkem součtu ztrát ve statorovém vinutí, mechanických ztrát a ztrát v železe, ze kterých se získává náhradní odpor ztrát v železe. Schéma zapojení je zobrazeno níže na *obrázku 2.1*.



Obrázek 2.1: Schéma zapojení měření asynchronního motoru naprázdno

Teorie měření

Měření se provádí bez zatížení motoru se skluzem co nejbližším k nule. Z toho důvodu je nutné odstranit těsnění a ostatní zařízení způsobující přídavné tření. Zkoušený motor musí být v ustáleném tepelném stavu všech částí, včetně ložiskových uzlů. Pokud teplotu ložisek nelze změřit, je doporučeno nejdříve zkoušený motor rozběhnout naprázdno na jmenovité otáčky a v závislosti na jeho výkonu ho po určitou dobu nechat zaběhnout. Čas i hodnota výkonu jsou udány v tabulce *Tabulka 2.1 Doba zaběhnutí motoru*.

Tabulka 2.1: Doba zaběhnutí motoru

Výkon motoru (kW)		Doba zaběhnutí (min)	
nad	do	Při typových zkouškách motorů s kluznými nebo válivými ložisky	Při kontrolních zkouškách s válivými ložisky
	1	10	3
1	10	30	3
10	100	60	3
100	1000	120	30
1000		180	60

Veličiny, které při zkoušce naprázdno měří jsou příkon, napětí a proud. Napětí a proud se měří ve všech fázích. Napětí na jedné fázi se měří pouze za předpokladu, že napájecí zdroj bude mít odchylku od střední hodnoty menší než 1 %.

Pokud měřený motor má nižší výkon než 5 kW, je nutné připojit napěťové svorky wattmetru přímo na svorky motoru, přičemž spotřeba napěťových cívek wattmetru se nesmí zanedbat.

Postup měření

Po rozběhnutí asynchronního motoru se zvýší napájecí napětí na maximální hodnotu, která nesmí překročit hodnotu, při níž proud naprázdno dosahuje hodnoty vyšší než 150 % jmenovitého proudu motoru, ale musí být větší než 110 % jmenovitého napětí motoru. Výsledná charakteristika naprázdno se vytváří postupným snižováním napětí až na hodnotu, při které se ještě nezvyšuje satorový proud, přičemž je nutné provést zkoušku v co nejkratším čase.

Pro správné znázornění charakteristiky naprázdno je doporučeno změřit devět až jedenáct různých hodnot napětí.

Po ukončení zkoušky se ihned změří teplota vinutí, která se nesmí lišit od teploty chladiva o více než 2 K a činný odpor satorového vinutí na každé fázi. Jeho výsledná hodnota je průměrná hodnota ze všech tří fází.

Zpracování výsledků měření

Pro výpočet účinníku se jako výsledné hodnoty napětí naprázdno U_{10} a proudu naprázdno I_{10} považuje aritmetický průměr všech naměřených hodnot. Výsledný příkon naprázdno P_{10} je pak dán součtem jednotlivých fázových příkonů. Účinník naprázdno $\cos \varphi_{10}$ se vypočte podle vzorce:

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} \quad (2.1)$$

Ztráty naprázdno, které vznikají při měření naprázdno se skládají ze ztrát v satorovém vinutí, ztrát v železe a mechanických ztrát.

Ztráty ve satorovém vinutí jsou dané velikostí proudu naprázdno a odporu satorového vinutí, určený z naměřeného odporu mezi fázemi, který se musí korigovat na teplotu vinutí při 25 °C pomocí vzorce:

$$R_{s25} = \frac{1}{2} \cdot R_{lim} \cdot \frac{k_s + 25}{k_s + \theta_0} \quad (2.2)$$

Výsledné ztráty ve satorovém vinutí jsou pak dané vzorcem:

$$\Delta P_{j10} = 3 \cdot I_{10}^2 \cdot R_{s25} \quad (2.3)$$

Ztráty v železe tvoří hysterezní ztráty úměrné frekvenci a ztráty vířivými proudy úměrné frekvenci. Výsledná hodnota ztrát v železe ΔP_{fe} se vypočte odečtením konstantních ztrát ΔP_K od mechanických ztrát ΔP_{mech} podle vzorce:

$$\Delta P_{fe} = \Delta P_K - \Delta P_{mech} \quad (2.4)$$

kde konstantní ztráty se získají odečtením ztrát satorového vinutí naprázdno ΔP_{j10} od příkonu naprázdno pro každou hodnotu napětí při měření naprázdno, které se korigují na teplotu vinutí na konci tepelné zkoušky naprázdno.

$$\Delta P_K = P_{10} - \Delta P_{j10} \cdot \frac{k_s + \theta_{NL}}{k_s + 25} \quad (2.5)$$

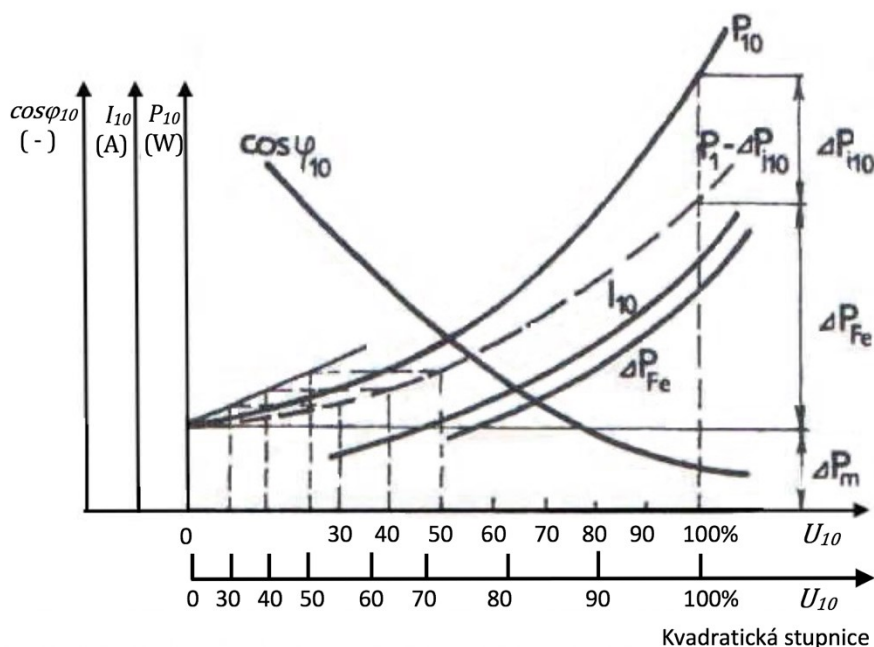
Pomocí ztrát v železe ΔP_{fe} se vypočte náhradní odpor ztrát v železe, který se uvádí v náhradním schématu pro jmenovité napětí a kmitočet. Odpor ztrát v železe R_{fe} se nesmí korigovat na teplotu, ale podle kmitočtu, je-li použit jiný než jmenovitý. Pro jmenovité napětí a kmitočet platí vztah:

$$R_{fe} = \frac{3 \cdot U_{is=0}^2}{\Delta P_{fe}} \quad (2.6)$$

Ztráty mechanické ΔP_{mech} vznikají ze ztrát třením a ventilačními ztrátami. Jejich velikost je nezávislá na zatížení a nejsou zahrnuty do náhradního obvodového schématu. Mechanické ztráty jsou závislé na otáčkách motoru a jejich velikost se projevuje snížením mechanického výkonu motoru.

Pokud se kmitočet charakteristiky naprázdno liší od jmenovitého kmitočtu od 1 až 2 % je nutné změřené hodnoty přepočítat. Napětí roste lineárně s kmitočtem, ztráty v železe a mechanické ztráty s druhou mocninou kmitočtu.

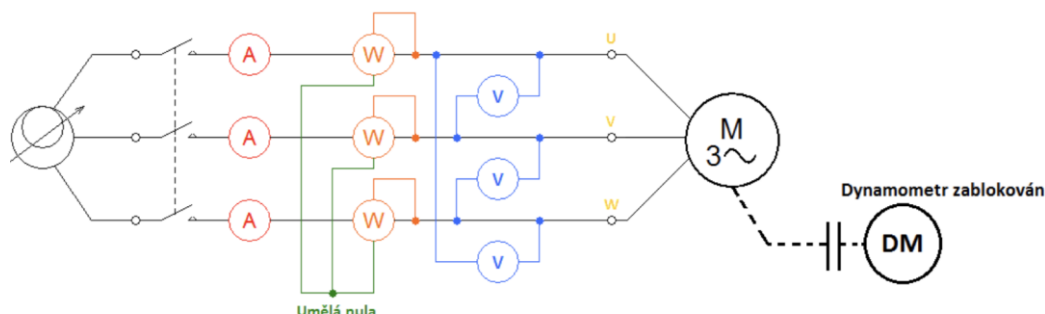
Grafické zpracování naměřených a vypočtených hodnot se provádí z proudu naprázdno I_{10} , příkonu naprázdno a účinku naprázdno jako funkce napětí naprázdno U_{10} . Ztráty v železe se vynášejí jako funkce napětí naprázdno U_{10} v rozpětí 80 až 120 % U_{10} vyneseno v %, jak je uvedeno níže na obrázku 2.2



Obrázek 2.2: Charakteristika měření naprázdno

2.5 Měření nakrátko

Při měření nakrátko se zjišťuje proud nakrátko a ztráty nakrátko. Dále se určuje účinník nakrátko a procentuální napětí nakrátko při jmenovitém proudu. Schéma zapojení pro měření nakrátko je uvedeno na obrázku 2.3



Obrázek 2.3: Schéma zapojení měření asynchronního motoru nakrátko

Teorie měření

Zkouška nakrátko se doporučuje pouze pro motory, které mají rotor s dvojitou nebo vírovou klecí (tzn. nízká hodnota skinefektu), a také jmenovitý výkon větší než 1kW. Pro motory s menším výkonem se doporučuje měřit zkouška při opačném smyslu točení, a to z důvodu, že při měření nakrátko vzniká nepřesnost, která je způsobena velkou hodnotou odporu rotoru daného stroje.

Měření se provádí při zabrzděném rotoru, kdy skluz $s = 1$ a kroužkové motory musí mít kroužky spojené nakrátko. Veličiny, které se při zkoušce nakrátko měří jsou vstupní napětí, statorový proud a příkon na všech fázích.

Postup měření

Na zabrzděný motor se na svorky statorového vinutí přiloží nízké napětí s jmenovitým kmitočtem. Poté se napětí co nejrychleji zvýší na hodnotu, kdy proud je roven 150 % jmenovitého proudu I_N . Následně se změří potřebné hodnoty a motor se ihned vypne. Měření se opakuje pro další hodnoty napětí v sestupném pořadí. Doporučený počet bodů pro měření je 8 až 10 bodů rovnoměrně rozložených v rozmezí od 150 % do 10 % jmenovitého proudu. Měření je nutno provést co nejrychleji, aby nedošlo k přehřátí vinutí, a proto se po ustálení měřené hodnoty okamžitě odečítají a zapisují.

Pokud je motor dvoupólový hrozí riziko velmi rychlého nárůstu teploty rotorových tyčí. V tomto případě je doporučená hodnota proudu maximálně 125 % proudu jmenovitého.

Ihned po ukončení měření charakteristiky nakrátko se změří činný odpor statorového vinutí. U kroužkových motorů je nutné změřit i činný odpor rotorového vinutí, ze kterého se následně vypočítají ztráty nakrátko ve statorovém vinutí.

Zpracování výsledků měření

Pro výpočet účinníku nakrátko, se jako výsledné hodnoty napětí a proudu považuje aritmetický průměr naměřených hodnot a výsledný příkon při měření pomocí třech wattmetrů je dán součtem jednotlivých fázových příkonů. Účinník se pak vypočte podle vzorce:

$$\cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{\sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k}} \quad (2.7)$$

Výsledné ztráty nakrátko ΔP_k jsou rovny příkonu nakrátko P_{1k} . Jejich velikost závisí na ztrátách nakrátko v satorovém, rotorovém vinutí a ztrátách v železe určené z měření naprázdno při napětí nakrátko.

$$P_{1k} = \Delta P_k = \Delta P_{j1k} + \Delta P_{j2k} + \Delta P_{Fe} \quad (2.8)$$

Určení ztrát nakrátko ve satorovém vinutí lze pomocí změřeného odporu satorového vinutí mezi dvěma vývody ihned po ukončení měření a proudu nakrátko.

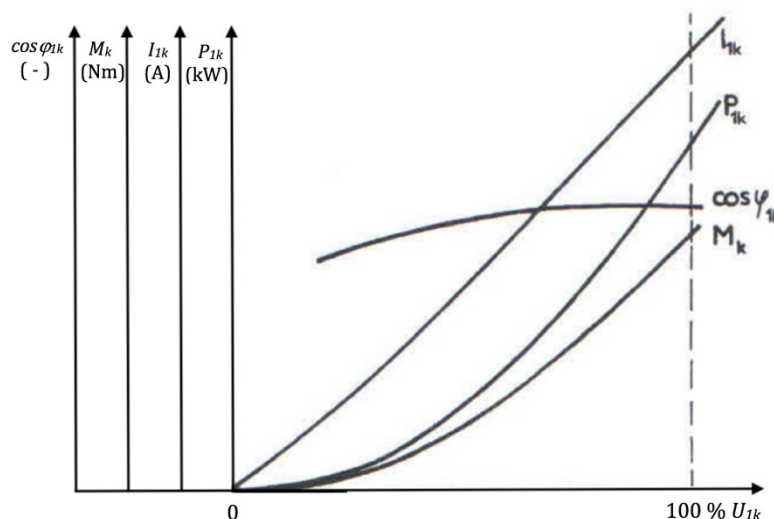
$$\Delta P_{j1k} = 1,5 \cdot I_{1k}^2 \cdot R_{1k} \quad (2.9)$$

Určení ztrát nakrátko v rotorovém vinutí lze pak vyjádřením ze vztahu (2.8).

Jelikož je zkouška provedena pro snížené napětí, je nutné určit proud nakrátko při jmenovitém napětí. Při zanedbání sycení stroje lze využít vztah:

$$I_{KN} = I_k \cdot \frac{U_N}{U_K} \quad (2.10)$$

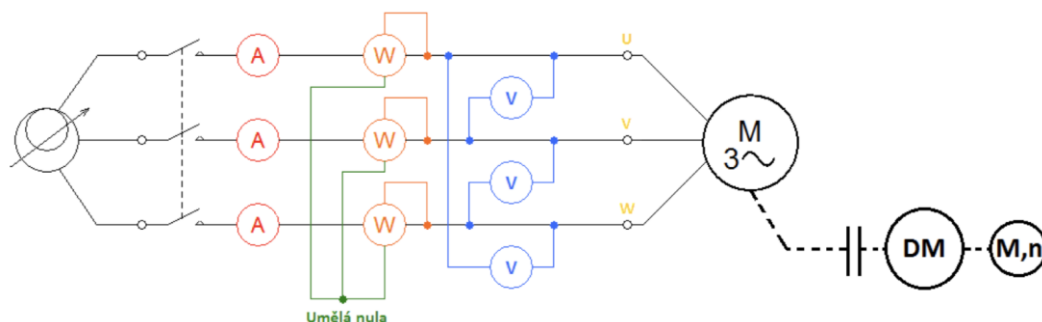
Grafické zpracování naměřených a vypočtených hodnot při měření nakrátko se provádí vynesemím proudu nakrátko I_{1k} příkonu nakrátko P_{1k} , účinníku nakrátko $\cos \varphi_{1k}$ a momentu nakrátko M_k v závislosti na napětí nakrátko U_{1k} v procentech, jak je zobrazeno níže na obrázku 2.4:



Obrázek 2.4: Charakteristika měření nakrátko

2.6 Měření zatěžovacích charakteristik

Zatěžovací (pracovní) charakteristiky se používají pro kontrolu hodnot účinnosti, účinníku a skluzu, které jsou uvedené na štítku motoru. Vynáší se závislost příkonu, proudu skluzu účinníku a účinnosti na výkonu motoru při konstantním jmenovitém vstupním napětí a jmenovitém kmitočtu. Schéma zapojení je uvedeno níže na *obrázku 2.5*:



Obrázek 2.5: Schéma zapojení pro měření zatěžovacích charakteristik

Teorie měření

Před zahájením měření musí být teplota statorového vinutí v rozmezí 5 K od teploty naměřené oteplovací zkouškou při jmenovitém zatížení. Pokud nelze měřit při jmenovitém napětí, je doporučená zkouška při sníženém napětí podle normy ČSN 35 0015.

Měřené veličiny jsou vstupní napětí a proud na každé fázi, příkon pomocí metody dvou nebo třech wattmetrů a skluz. Pro měření příkonu je možno použít také trojfázový wattmetr. Měření skluzu je detailně popsáno v normě ČSN 35 0010.

Základní metody měření skluzu jsou:

- Stroboskopickou metodou, pokud její napájecí kmitočet je stejný jako napájecí kmitočet zkoušeného motoru.
- Pomocí otáčkoměru s následným dopočtením skluzu. Jejich přesnost měření musí být alespoň 3 %.
- Pomocí zařízení na měření skluzu, pokud nevytváří přídatnou zátěž na hřídeli, která by přesáhla hodnotu 0,5 % jmenovitého výkonu stroje.

Postup měření

Motor se nejprve zatíží až na přetížení alespoň 110 % jmenovitého zatížení a změří se sestupně 8 až 10 hodnot rovnoměrně od 110 % jmenovitého zatížení až do chodu naprázdno, při konstantním napětí. Měření je nutné provést co nejrychleji, aby se minimalizovala změna teploty stroje.

Zatěžovací charakteristiku lze měřit také při konstantním momentu, při měnícím se napětí v rozsahu 80 % až 120 % jmenovitého napětí.

Zpracování výsledků měření

Z naměřených hodnot se vypočte účinek $\cos \varphi_1$ pomocí příkonu P_1 , vstupního napětí mezi přívody U_1 a vstupním proudem I_1 podle vzorce:

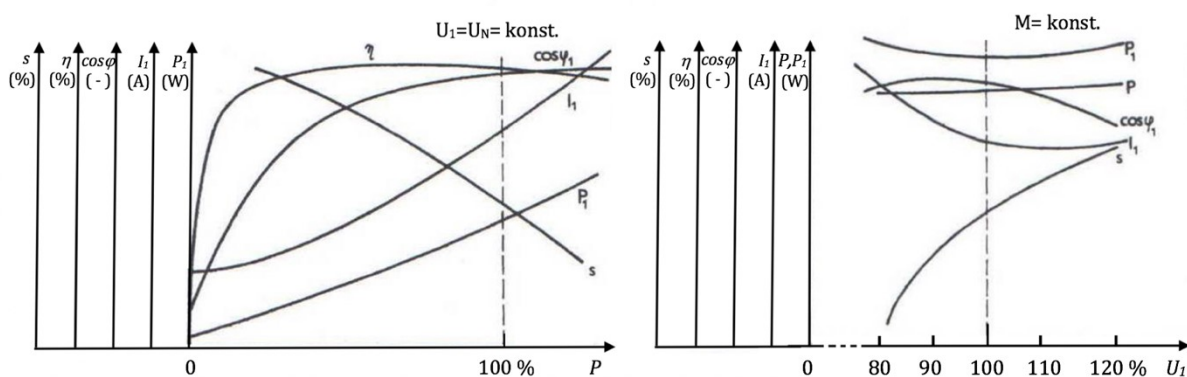
$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} \quad (2.11)$$

Vzhledem k schématu zapojení, kde je použitý otáčkoměr se výsledný skluz v procentech vypočte ze synchronních otáček magnetického pole n_{s1} a otáček na hřídeli n pomocí vzorce:

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

Účinnost se vypočte podle normy ČSN 35 0015.

Grafické znázornění naměřených a vypočtených hodnot při konstantním jmenovitém napětí je vyjádřeno závislosti vstupního proudu I_1 skluzu s účinnosti η , účinku $\cos \varphi_1$ a příkonu P_1 na mechanickém výkonu motoru P (obrázek 2.6 vlevo), a při konstantním momentu se vyjadřuje závislost stejných hodnot na vstupním napětí U_1 (obrázek 2.6 vpravo): [4], [6]



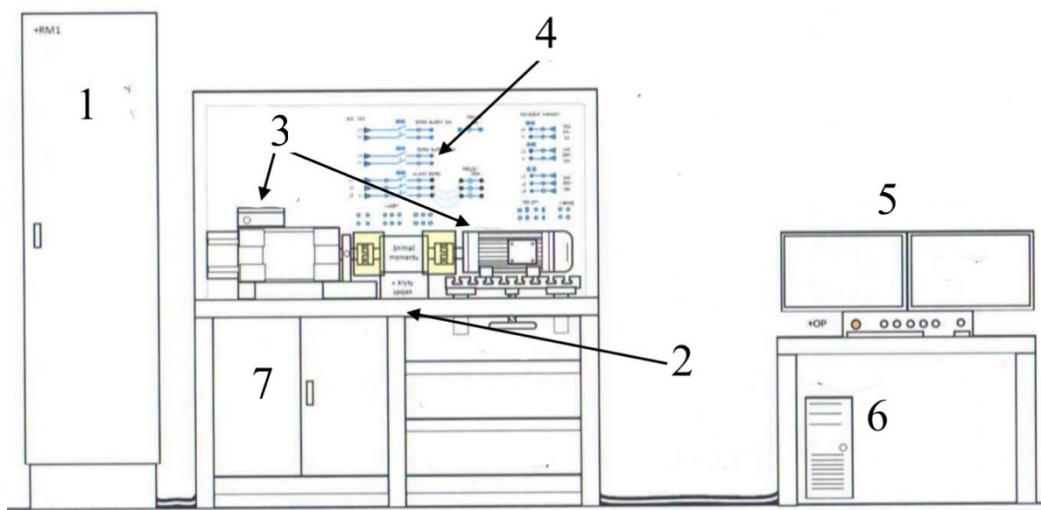
Obrázek 2.6: Zatěžovací charakteristiky při $U = \text{konst}$ (vlevo) a při $M = \text{konst.}$ (vpravo)

3 Laboratorní pracoviště

Laboratorní pracoviště je navrženo pro zkoušky elektrických strojů točivých. Je přizpůsobeno tak, aby zkoušky odpovídaly reálným podmínkám, které se v praxi používají ve zkušebnách před uvedením strojů do provozu.

3.1 Technologické části

Uspořádání laboratorního pracoviště s popisem jednotlivých částí je zobrazen v následujícím obrázku 3.1:



Obrázek 3.1: Dispoziční uspořádání pracoviště

- 1- Rozvaděč měření, napájení a konfigurace zdrojů
- 2- Zkušební stůl
- 3- Zatěžovatel (vlevo), zkoušený stroj (vpravo)
- 4- Připojovací rozhraní
- 5- Operátorské rozhraní pro řízení a vizualizaci měření
- 6- PC technologie
- 7- Pomocný rozvaděč měření a senzorky

Zdroj EMS- 1 50

Regulovaný zdroj je umístěn vedle zkušebního stolu. Je primárně určen pro napájení elektrických strojů točivých a je schopen dodávat třífázové střídavé a také stejnosměrné napětí. Vstupní napětí pro zdroj je třífázové 400 V/ 50 Hz ze sítě, které transformuje na střídavé regulované napětí v rozsahu od 2 do 500 V s frekvencí 50 až 60 Hz, nebo stejnosměrné regulované napětí od 5 do 500 V.

Základní vlastnosti regulovaného zdroje:

- Rozběh a doběh pomocí U/f rampy pro střídavé výstupy.
- Proudové omezení, které při překročení nastaveného proudu sníží napětí.
- Dálkové řízení zdroje nadřazeným systémem.
- Elektronická konfigurovatelná ochrana proti přetížení zátěže.
- Reverzace střídavého a změna polaritý stejnosměrného napětí.
- Rekuperace energie zpět do sítě při plném výkonu zatěživatele.
- Režimy regulace výstupního napětí.

Elektrické parametry zdroje jsou udány v *Tabulka 3.1 Elektrické parametry*

Tabulka 3.1: Elektrické parametry

Typové označení	Označení	EMS- 1.50	Jednotka
Výkon zdroje	S_N	50	kVA
Výstupní AC napětí	U_N	3x400V 50 Hz ($\pm 10\%$)	V
Vstupní AC napětí (rozsahy)	U_{nAC1}	3x100	V
	U_{nAC3}	3x300	V
	U_{nAC5}	3x500	V
Výstupní AC proudy (při dosažení 100 % napěťového rozsahu)	I_{nAC1}	3x289	A
	I_{nAC3}	3x96	A
	I_{nAC5}	3x58	A
Jmenovitá frekvence	f_{n1}	50	Hz
	f_{n2}	60	Hz
Rozsah frekvence výstupního AC napětí	f_{rzs}	2,5- 150	Hz
Výstupní DC napětí mezilehlého obvodu	U_d	580	V
Výstupní DC napětí	U_{DC}	500	V
Výstupní DC proud	I_{DC}	100	A

Elektromagnetické rušení je ve zdroji omezeno vysokofrekvenčními filtry, které jsou umístěny v různých částech vnitřního obvodu.

Zdroj je vybaven základním ovládacím dotykovým panelem, který je určen k místnímu řízení zdroje. K dálkovému ovládání je použit stejný, ale přenosný panel.

Zkušební stůl se zatěživatелеm

Zkušební stůl je vybaven nosnou deskou, na které je umístěn zatěživatel a zvedacím stolem, který umožňuje manipulaci pomocí zvedacího šroubu a na něj se připevní zkoušený stroj. Rozsah pracovních otáček je od 0 do 4000 ot/min a zdvih stolu je 100 mm. Nosnost zvedacího stolu je 100 kg.

Zatěžovatel je vytvořen asynchronním servomotorem produkce SIEMENS, jehož výkonová charakteristika překrývá požadovanou pracovní oblast. Základní parametry zatěžovatele:

- Jedná se o Simotic M Compact, typ 1PH813, jmenovitý výkon $P_N = 11kW$, jmenovité napětí $U_N = 360V$, jmenovitý moment $M_N = 70Nm$ a jmenovitý proud $I_N = 24A$.
- Možnost plynulého řízení otáček a momentu, možnost plynulého přechodu z motorického do generátorického chodu.
- Možnost krátkodobého přetížení na 125 % jmenovitého výkonu po dobu 30 sekund v intervalu 10 minut.
- Zatěžovatel obsahuje aretační přípravek pro zabrzdění hřídele (např. pro měření nakrátko).
- Požadovaná oblast konstantního výkonu 1500 až 3600 ot/min a konstantního momentu 0 až 1500 ot/min.

Na daném laboratorním pracovišti je možné zkoušet stejnosměrné i střídavé motory, pokud splňují rozsah osových výšek 60-160 mm. Patkové stroje se připevní sadou upínek a přírubové stroje pomocí přírubových nástavců.

Připojovací rozhraní

Připojovací rozhraní je umístěno nad zkušebním stolem a je řešeno formou panelu, který obsahuje slepé schéma pro zobrazení napájecích tras a indikaci aktivity. Připojovací konektory a základní kabeláž jsou navrženy na proudové zatížení 32 a 125 A s průměrem $4mm^2$ a $6mm^2$. Panel obsahuje 2 typy rozhraní:

a) Pro zkoušený stroj

Připojovací rozhraní pro zkoušený stroj obsahuje silové svorky napájecích obvodů pro připojení ke svorkovnici zkoušeného stroje a pomocné vývody pro napájení pomocného spotřebiče, který může pro motor představovat nezávislé chlazení ve formě ventilátoru. Dále obsahuje stejnosměrné vývody pro napájení cizího a sériového buzení.

b) Pro měřicí zařízení

Napětí lze měřit před a za připojovacím stykačem a měření 3 AC proudu lze měřit v zapojení trojúhelníku i ve hvězdě. Všechny veličiny, které lze měřit na laboratorním pracovišti jsou:

- 8x svorky pro měření napětí v rozsahu 0 až 900 V efektivní hodnoty s třídou přesnosti 0,2 %.
- Svorky jsou od sebe samostatně galvanicky oddělené a je možné je libovolně zapojit do obvodu.
- 3x svorky pro měření proudu v rozsahu 0 až 100 A a 1x v rozsahu 0 až 10 A efektivní hodnoty s třídou přesnosti 0,2 %.
- 1x snímač momentu.
- 1x vestavěné čidlo pro měření otáček na hřídeli zatěžovatele a 1x bezkontaktní optické čidlo pro měření otáček nespojené mechanicky se zatěžovatelem.
- 8x teplotních čidel rozdělených na 4 snímače PT100 a 4 termočlánky typu J.
- 3x snímač vibrací řešený akcelerometrem typu IEPE.

Operátorské rozhraní

Softwarová aplikace je vytvořena ve vývojovém prostředí LabView (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering workench = laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů). Operátorské rozhraní je realizováno dvěma monitory, kde každý má při zkoušení svou funkci:

- a) Monitor pro přehledné ovládání napájecích zdrojů (vpravo):
 - Silové vývody AC a DC, pomocný vývod.
 - Zdroj pro buzení.
 - Komplexní ovládání zatěživatele.
- b) Monitor pro vizualizaci měřených dat (vlevo):
 - Osciloskopické průběhy
 - Vektorové diagramy
 - Agregované veličiny.
 - Chart grafy a XY charakteristiky.

Měřené signály lze také převést do frekvenční oblasti pomocí FFT analýzy. Naměřené hodnoty se při měření automaticky ukládají do souboru, kde si je lze prohlédnout nebo exportovat.[7]

3.2 Bezpečnost práce

Laboratorní zařízení využívají pro napájení nebezpečná napětí. Je nutné, aby studenti dodržovali laboratorní řád, který je vyvěšen v laboratoři a řídili se pokyny pedagogického dozoru. Veškeré přípravné práce a zapojování schémat se musí provádět bez napětí v zajištěném stavu. Provedené zapojení se po studentech zkontroluje a následně se provede oživení. Samotné měření je prováděno pod dozorem.

Kódování barev sdělovačů

- Červená barva signalizuje nebezpečí nebo závazný příkaz. Při rozsvícení je nutná okamžitá reakce. Z provozního hlediska je červeně označené také tlačítko nouzového vypnutí nebo spuštění nouzové funkce.
- Žlutá barva signalizuje mimořádný stav. Z provozních podmínek se může jednat o přetížení nebo výpadek. Z hlediska bezpečnosti osob a prostředí jde o méně podstatnou poruchu.
- Zelená barva signalizuje bezpečný stav za normálních provozních podmínek. Nevyžaduje žádná opatření.
- Modrá barva signalizuje zvláštní význam. V praxi to znamená, že je nutný zásah např. seřízení nebo nastavení.
- Bílá, šedá, černá barva signalizují všeobecné informace, které nevyžadují žádný zásah.

Zásady při měření

Jelikož dochází při měření k práci pod napětím, musí se dodržovat určité zásady při měření.

- Pracovník musí mít stabilní postavení a obě ruce volné.
- Osoba znalá může měřit na nízkém napětí sama podle stanovených pracovních postupů.
- Osoba poučená smí měřit a zkoušet jen pod dozorem osoby znalé.

Zajištění pracoviště

Před uvedením pracoviště do provozu následují tyto úkony:

- Změřit izolační stav.
- Změřit a posoudit stav ochrany před úrazem elektrickým proudem.
- Zajistit dostatečně kvalifikovanou osobu dle vyhlášky 50/1978 Sb.

Při práci v blízkosti živých částí je nutné tyto části správně zajistit pomocí krytů, přepážek, zábran nebo izolačním krytím. Dále je nutné, aby bylo dodržena bezpečná vzdálenost, která musí být větší než D_L (vnější hranice ochranného prostoru podle ČSN EN 50110-1 ed. 2). [8]

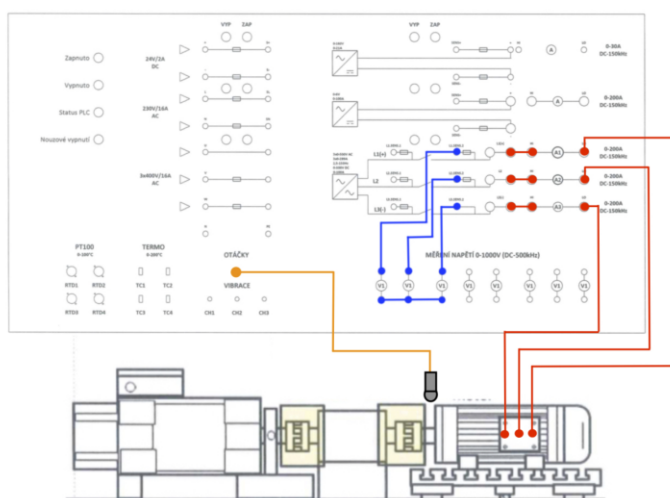
4 Měření základních zkoušek asynchronního motoru

Měření všech elektrických zkoušek se provádí v laboratoři EB018. Teplota v laboratoři byla 21 °C. Pro měření byl použit asynchronní motor, který má při zapojení do hvězdy následující parametry:

Tabulka 4.1: Jmenovité údaje asynchronního motoru

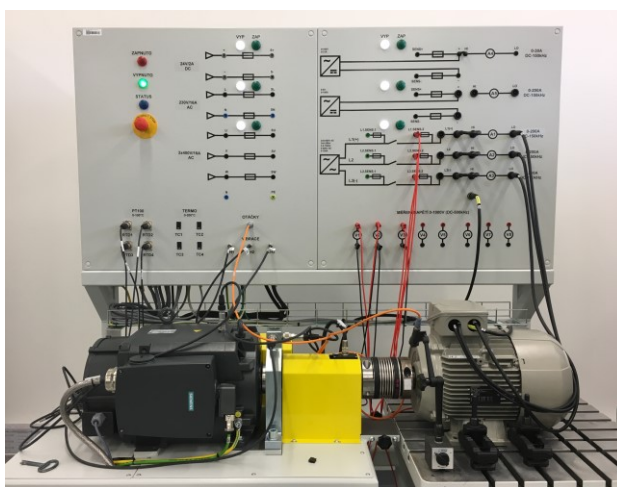
P_N (W)	U_n (V)	I_n (A)	$\cos \varphi_n (-)$	n_n (ot/min)	η_n (%)	s_n (%)
7500	400	14,7	0,83	1465	88,7%	2,33

Principiální schéma je zobrazeno na obrázku 4.1, ve kterém je barevně zvýrazněno zapojení měřících přístrojů, tak jak je ve skutečnosti.



Obrázek 4.1: Principiální schéma zapojení

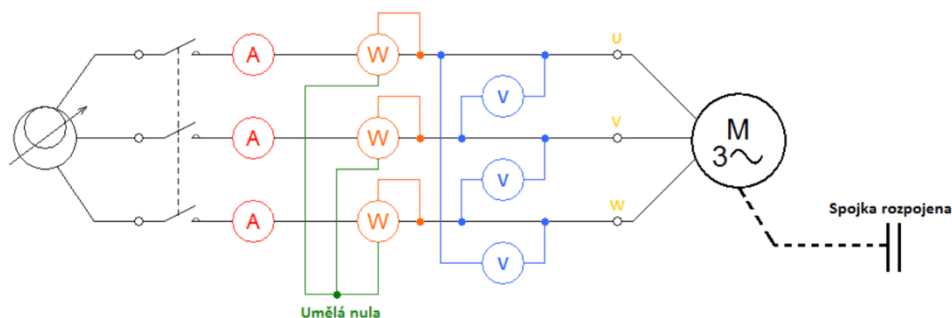
Na obrázku 4.2 je fotografie pracovního stolu z laboratoře, na které je zobrazen zatěžovatel se zkoušeným asynchronním motorem a panelem sloužícím pro připojení měřících přístrojů.



Obrázek 4.2: Fotografie pracovního stolu

4.1 Měření naprázdno

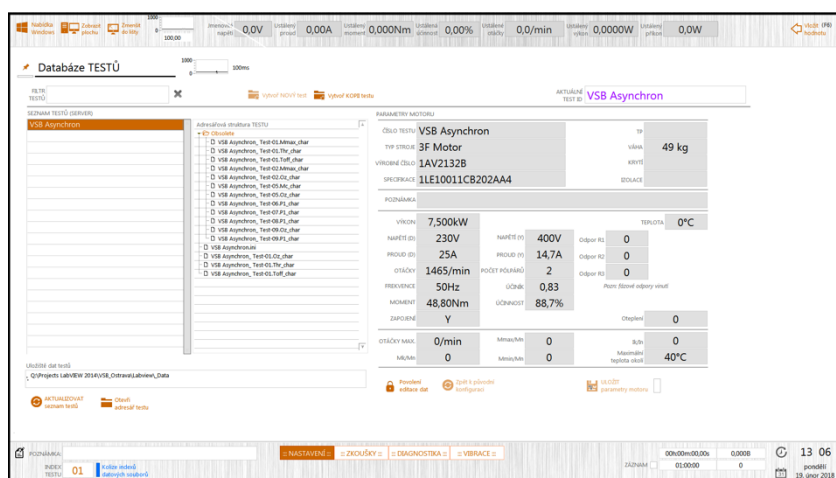
Měření naprázdno se provádí bez zatížení motoru. Výsledkem měření je určení ztrát, proudu a účinku naprázdno, které se získají výpočtem z naměřených hodnot. Měřené hodnoty jsou napětí, proud a příkon v každé fázi, přičemž měření se provádí pro alespoň 8 různých hodnot napětí.



Obrázek 4.3: Schéma zapojení pro měření asynchronního motoru naprázdno

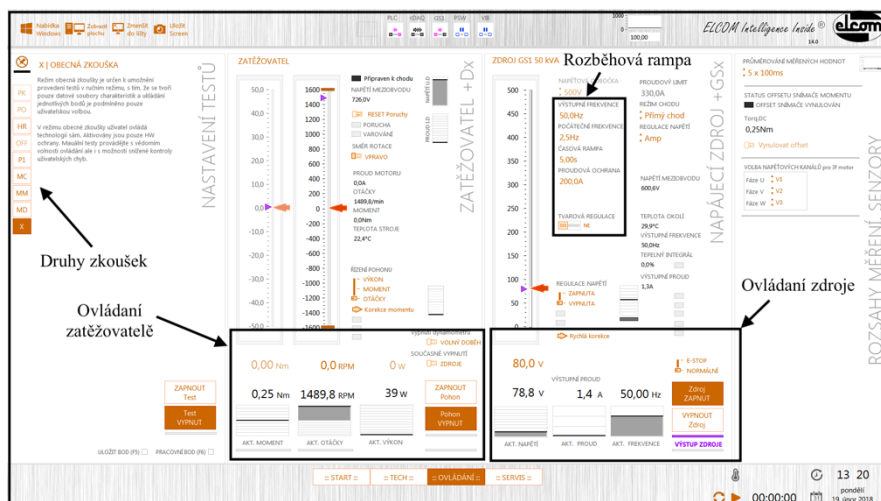
Postup měření

Před samotným měřením je nutné vybrat na úvodní obrazovce štítek měřeného motoru. Pokud štítek není zapsaný v databázi, musí se parametry motoru napsat ručně do vytvořené tabulky. Na obrázku 4.4 je zobrazena úvodní obrazovka, na které jsou uvedeny parametry asynchronního motoru, který bude použit pro měření.



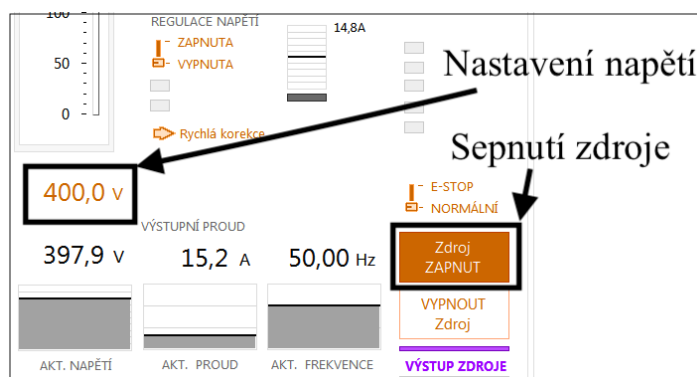
Obrázek 4.4: Úvodní obrazovka

Po nastavení parametrů motoru se přejde na kolonku **zkoušky**, ve které se na levé obrazovce zobrazují naměřené hodnoty a na pravé obrazovce se provádí ovládání pracoviště. Ve sloupci nastavení testů jsou naprogramované základní zkoušky, které se po stisknutí tlačítka **zapnout test** provedou automaticky. Zkouška naprázdno je zapsána zkratkou **PO**. Pro ruční měření je vytvořena zkouška s názvem **X**, ve které lze zdroj i zatěžovatel ovládat libovolně. Ovládací obrazovka pro obecné zkoušení je zobrazena na obrázku 4.5.



Obrázek 4.5: Ovládací obrazovka

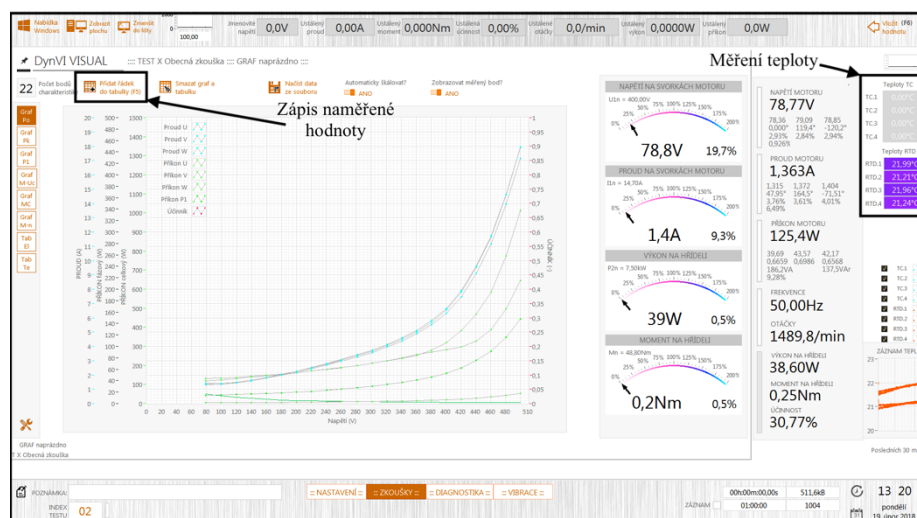
Rozběh motoru se provádí ovládáním zdroje, kde se nastaví napětí na potřebnou hodnotu a stiskne se tlačítko **zapnout zdroj**. Rozběhová frekvenční rampa se nastavuje na čas náběhu z počáteční do výstupní hodnoty frekvence. Při nepřesnosti nastaveného a skutečného napětí je možné nepřesnost opravit tlačítkem **rychlá korekce**.



Obrázek 4.6: Ovládání zdroje

Naměřené hodnoty napětí, proudu, příkonu a účinníku se objeví jako šedý bod v grafu. Jejich zápis se provede tlačítkem **přidat řádek do tabulky**, přičemž se hodnoty zobrazí barevně (viz obrázek 4.7) a provede se automatický zápis naměřených dat do souboru, který lze otevřít v programu Microsoft Excel. Tento postup se opakuje pro další hodnoty napětí, které se postupně snižují.

Po ukončení měření se ihned změní činný odpor statorového vinutí v každé fázi. Pokud se při výpočtech koriguje odpor na požadovanou teplotu, musí se zapsat také teplota statorového vinutí.



Obrázek 4.7: Obrazovka s grafickým zobrazením hodnot

Tabulka 4.2: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

$U_{10}(V)$	$I_{10}(A)$	$P_{10}(W)$	$\cos\varphi_{10}(-)$	$\Delta P_{j10}(W)$	$\Delta P_K(W)$	$\Delta P_{fe}(W)$
497,06	17,18	961,42	0,065	460,44	500,98	405,98
449,29	10,30	528,72	0,066	165,50	363,22	267,22
400,03	6,46	350,99	0,078	65,10	285,89	190,89
350,76	4,69	272,04	0,095	34,31	237,73	142,73
301,02	3,63	224,17	0,118	20,56	203,61	108,61
252,67	2,89	190,82	0,151	13,03	177,79	82,79
202,65	2,24	162,95	0,207	7,83	155,12	60,12
151,59	1,71	139,23	0,309	4,56	134,67	39,67
101,35	1,33	122,56	0,522	2,76	119,80	24,8
81,059	1,30	117,31	0,643	2,64	114,67	19,67

Příklad výpočtu:

Naměřený odpor mezi fázemi

$$R_{12} = 1,036\Omega$$

$$R_{13} = 1,04\Omega$$

$$R_{23} = 1,045\Omega$$

Naměřený průměrný odpor mezi fázemi

$$R_{l1m} = \frac{R_{12} + R_{13} + R_{23}}{3} = \frac{1,036 + 1,04 + 1,045}{3} = 1,04\Omega \quad (4.1)$$

Odpor statorového vinutí jedné fáze

$$R_{s25} = \frac{1}{2} \cdot R_{IIm} = \frac{1}{2} \cdot 1,04 = 0,52 \Omega \quad (4.2)$$

Účinník

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} = \frac{961,42}{\sqrt{3} \cdot 497,06 \cdot 17,18} = 0,065 \quad (4.3)$$

Ztráty ve statorovém vinutí

$$\Delta P_{j10} = 3 \cdot I_{10}^2 \cdot R_{s25} = 3 \cdot 17,18^2 \cdot 0,52 = 460,44 \text{ W} \quad (4.4)$$

Konstantní ztráty

$$\Delta P_K = P_{10} - \Delta P_{j10} = 961,42 - 460,44 = 500,98 \text{ W} \quad (4.5)$$

Mechanické ztráty určené jako průsečík extrapolované křivky ztrát s osou výkonu

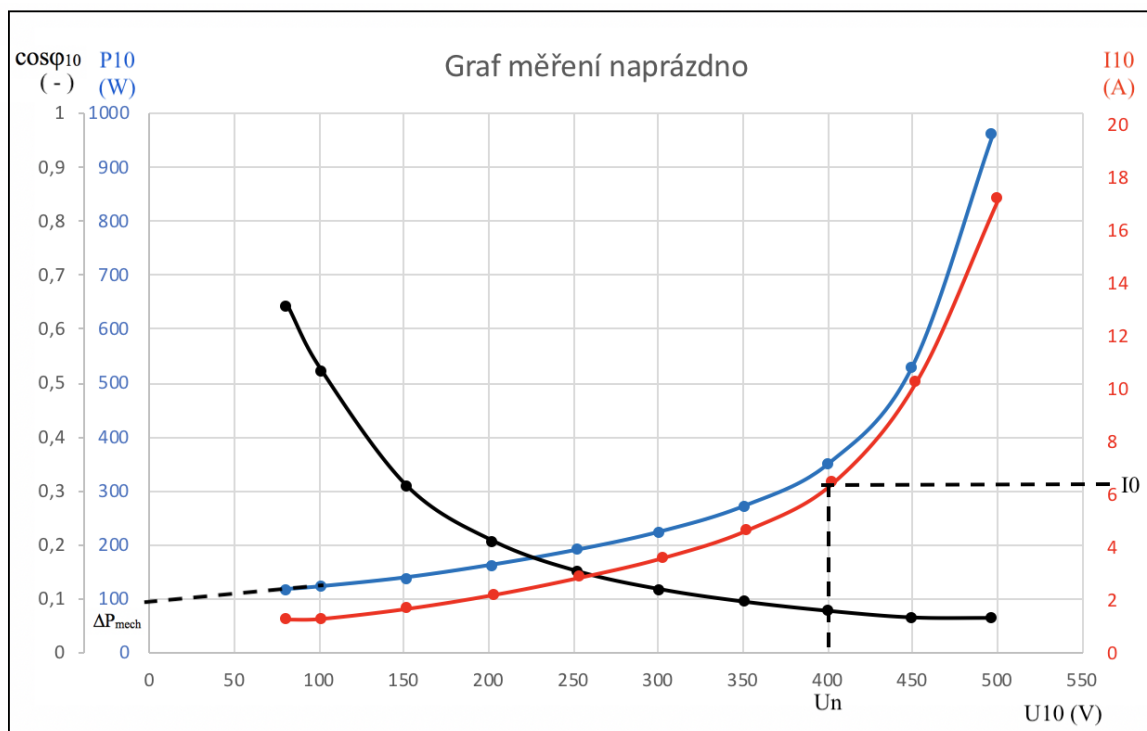
$$\Delta P_{mech} = 95 \text{ W}$$

Ztráty v železe

$$\Delta P_{fe} = \Delta P_K - \Delta P_{mech} = 500,98 - 95 = 405,98 \text{ W} \quad (4.6)$$

Procentuální proud naprázdno

$$i_0 = \frac{I_0}{I_N} \cdot 100 = \frac{6,2}{14,7} \cdot 100 = 42\% \quad (4.7)$$

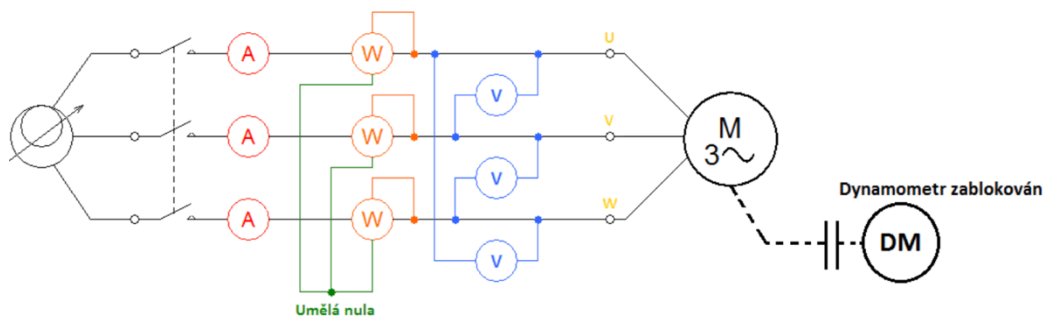


Obrázek 4.8: Graf pro měření naprázdno

4.2 Měření nakrátko

Měření nakrátko se provádí při zabrzděném rotoru a jejím výsledkem je určení proudu a ztrát nakrátko, které se získají výpočtem z naměřených hodnot. Měřené hodnoty jsou napětí, proud a příkon v každé fázi, přičemž měření se provádí pro alespoň 8 různých hodnot napětí.

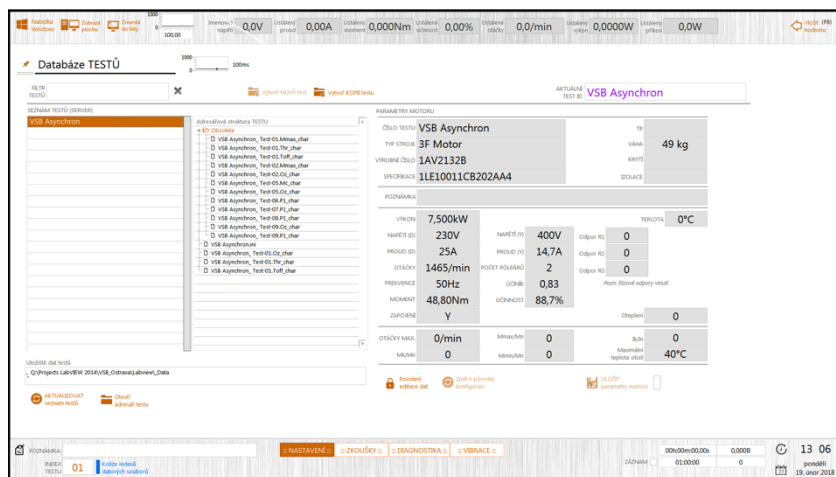
Pokud se měření provádí automaticky (v programu zkratka PK), lze jej provést při plném napětí. V případě, že se hodnoty nastavují a zapisují ručně, je vhodné měření provést při sníženém napětí, kdy proud nakrátko je roven maximálně 150 % I_N .



Obrázek 4.9: Schéma zapojení pro měření asynchronního motoru nakrátko

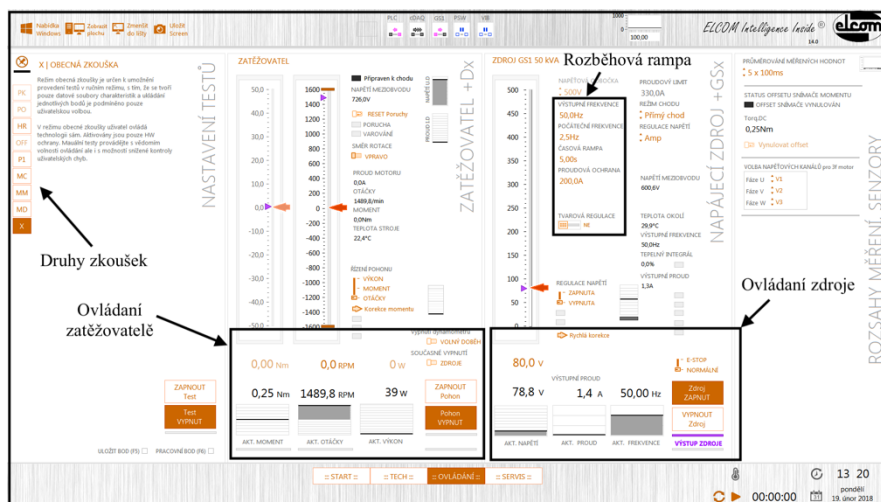
Postup měření

Před samotným měřením se provede zabrzdění rotoru pomocí speciálního čepu, který je nachystán na pracovním stole. Dále je nutné zvolit na úvodní obrazovce v programu štítek měřeného motoru. Pokud parametry motoru nejsou zapsané v databázi, musí se parametry napsat ručně do vytvořené tabulky. Úvodní obrazovka je zobrazena na obrázku 4.10.



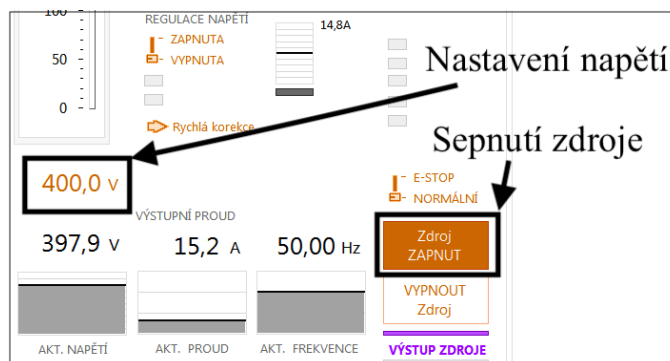
Obrázek 4.10: Úvodní obrazovka

Po nastavení parametrů motoru se přejde do kolonky **zkoušky**, ve které se na levé obrazovce zobrazují naměřené hodnoty a na pravé se provádí ovládání pracoviště. Ve sloupci nastavení testů jsou naprogramované základní zkoušky, které se po stisknutí tlačítka **zapnout test** provedou automaticky. Zkouška nakrátko je zapsána zkratkou **PK**. Pro ruční měření je vytvořena zkouška s názvem **X**, ve které lze zdroj i zatěžovatel ovládat libovolně. Ovládací obrazovka pro obecné zkoušení je zobrazena na *obrázku 4.11*.



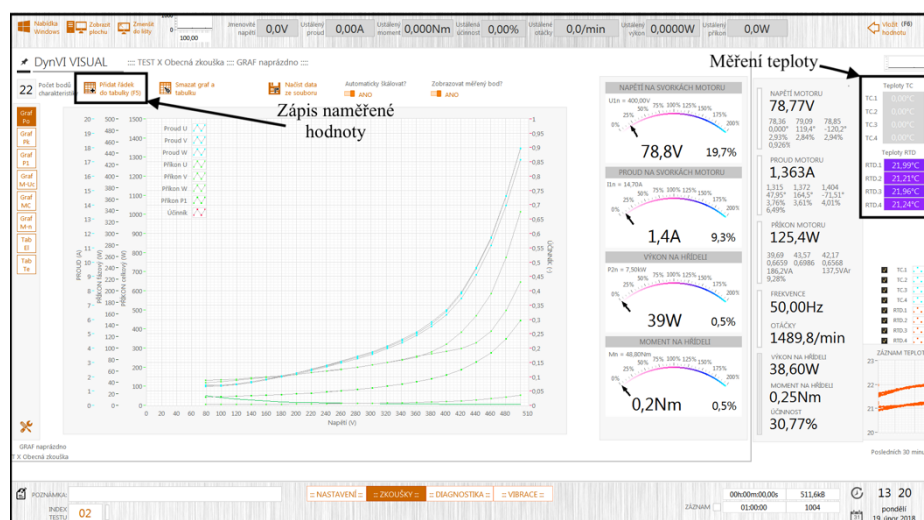
Obrázek 4.11: *Ovládací obrazovka*

Regulace napětí na zabrzděném motoru se provádí pomocí ovládání zdroje, kde se nastaví hodnota napětí na potřebnou hodnotu a stiskne se tlačítko **zapnout zdroj**. Při nepřesnosti nastaveného a skutečného napětí je možné odchylku odstranit stisknutím tlačítka **rychlá korekce**.



Obrázek 4.12: *Ovládání zdroje*

Napětí se nastaví na hodnotu, kdy motorem protéká 150 % jmenovitého proudu. Naměřené hodnoty napětí, proudu, příkonu a účinníku se zobrazí jako šedý bod v grafu. Zápis hodnot do grafu se provede tlačítkem **přidat řádek do tabulky** (viz *obrázek 4.13*), přičemž se hodnoty v grafu barevně zvýrazní a automaticky se zapisují do souboru, který lze otevřít v programu Microsoft Excel. Tento postup se opakuje pro další napětí, přičemž se napětí postupně snižuje, dokud motorem neprotéká 10 % jmenovitého proudu. Z důvodu velkého oteplování motoru je nutné zkoušku provést co nejrychleji.



Obrázek 4.13: Grafické zobrazení naměřených hodnot

Tabulka 4.3: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

$U_{1k}(V)$	$I_{1k}(A)$	$P_{1k}(W)$	$\cos \varphi_{1k}(-)$
16,74	1,55	15,79	0,351
43,79	5,86	159,03	0,358
68,61	10,47	469,62	0,377
77,01	12,12	621,24	0,384
93,67	15,55	1004,72	0,398
101,95	17,33	1240,48	0,405
110,17	19,15	1506,84	0,412
134,65	24,83	2504,61	0,433
156,85	30,26	3676,19	0,447

Příklad výpočtu:

Účinník

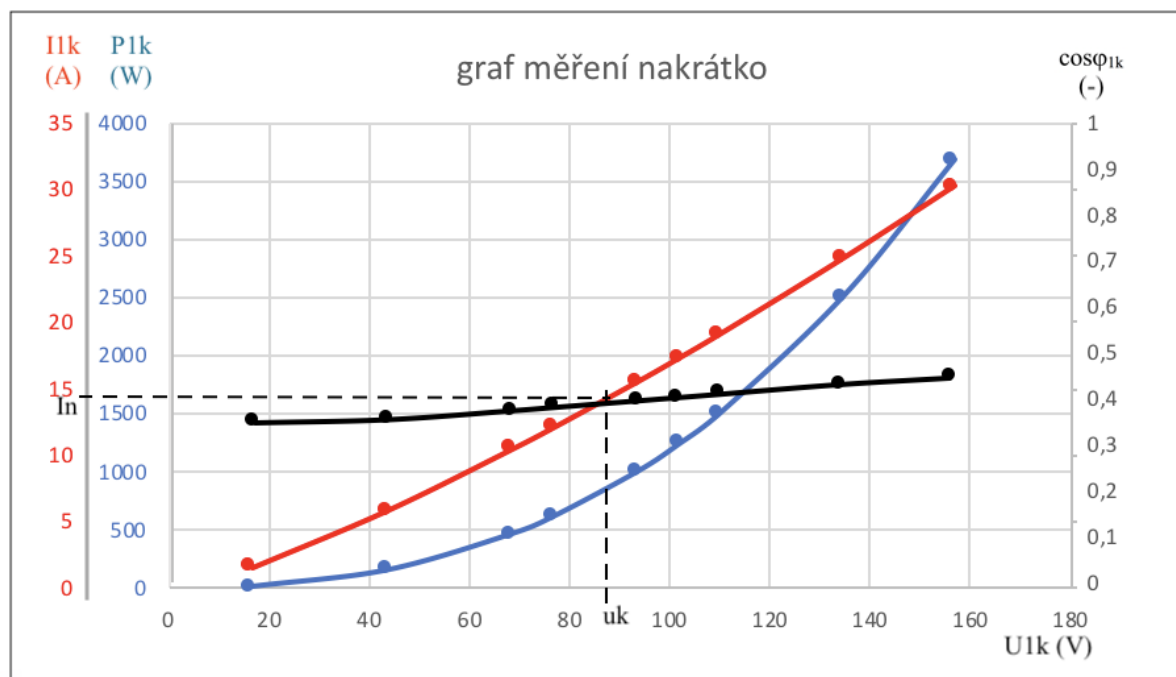
$$\cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{\sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k}} = \frac{15,79}{\sqrt{3} \cdot 16,74 \cdot 1,55} = 0,351 \quad (4.8)$$

Proud nakrátko při jmenovitém napětí

$$I_{KN} = I_k \cdot \frac{U_N}{U_K} = 30,26 \cdot \frac{400}{156,85} = 77,17A \quad (4.9)$$

Procentuální napětí nakrátko

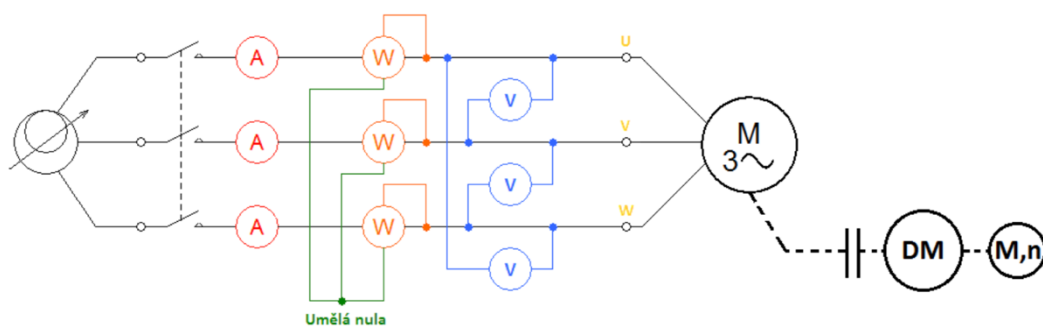
$$u_k = \frac{U_k}{U_{kn}} \cdot 100 = \frac{88}{400} \cdot 100 = 22\% \quad (4.10)$$



Obrázek 4.14: Graf pro měření nakrátko

4.3 Měření zatěžovacích charakteristik

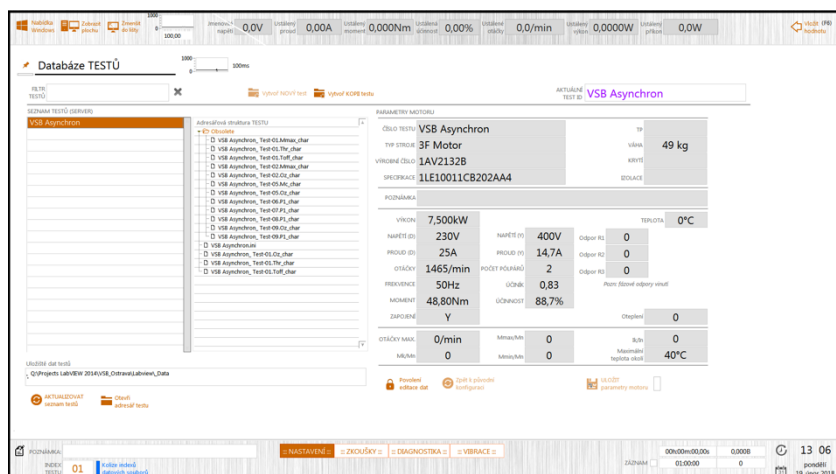
Měření zatěžovacích charakteristik se provádí zatěžováním motoru pomocí dynamometru při konstantním napětí. Výsledkem měření je kontrola účinnosti, účinníku a skluzu, které jsou uvedené na štítku stroje. Měřené elektrické veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou aktuální moment a otáčky.



Obrázek 4.15: Schéma zapojení pro měření zatěžovacích charakteristik

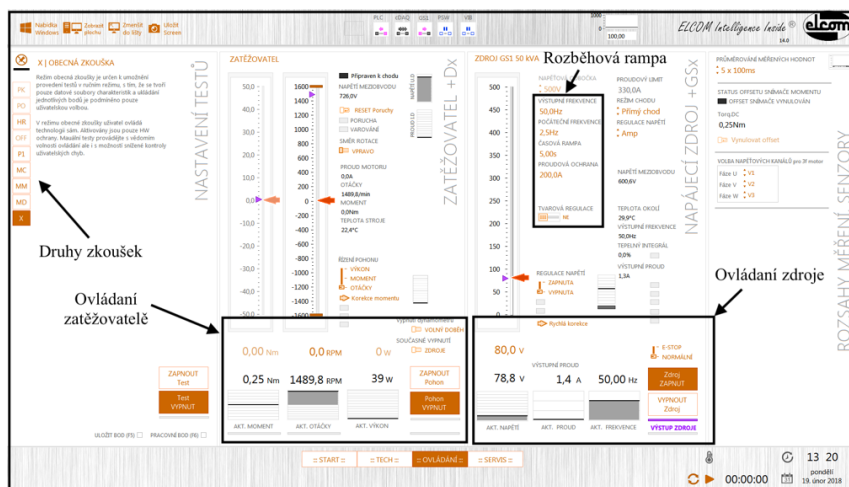
Postup měření

Před měřením je nutné na úvodní obrazovce zvolit štítek měřeného motoru. Pokud parametry motoru nejsou zapsané v databázi, provede se zápis parametrů motoru ručně do vytvořené tabulky. Úvodní obrazovka je zobrazena na obrázku 4.16.



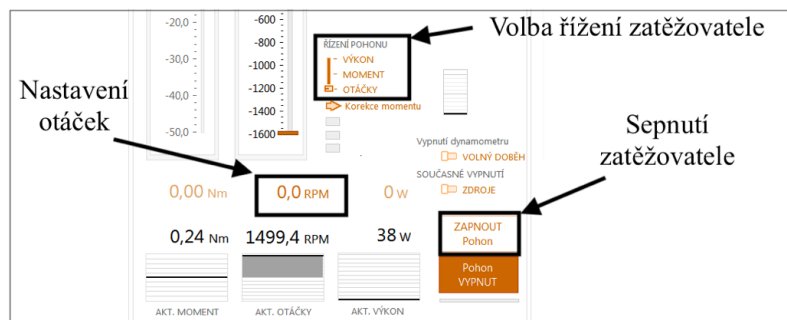
Obrázek 4.16: Úvodní obrazovka

Po nastavení parametrů motoru se přejde do kolony **zkoušky**, kde se na levé obrazovce zobrazují naměřené hodnoty a na pravé se provádí ovládání pracoviště. Ve sloupci nastavení testů jsou naprogramované základní zkoušky. Při vybrání automatické zkoušky stačí nastavit potřebné parametry, které jsou uvedené v levém sloupci a po stisknutí tlačítka **zapnout test** se zkouška provede automaticky. Pro ruční měření je vytvořena zkouška s názvem **X**, ve které lze zdroj i zatěžovatel ovládat libovolně. Ovládací obrazovka je zobrazena na obrázku 4.17.



Obrázek 4.17: Ovládací obrazovka

Spínání soustrojí zatěžovatel a motor se provede postupně. Nejprve se rozběhne zatěžovatel, a poté motor. Rozběh zatěžovatele se provede nastavením otáček na synchronní otáčky měřeného motoru a stiskne se tlačítko **zapnout pohon** (viz obrázek 4.18).



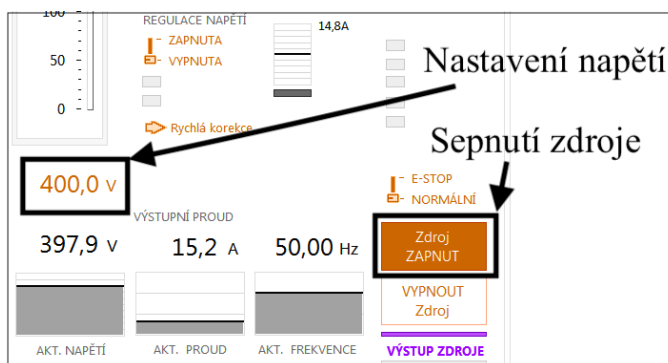
Obrázek 4.18: Rozběh zatěžovatele

Po roztočení zatěžovatele se přejde k rozběhu motoru. Před nastavením napětí na motoru je nutné vypnout frekvenční rozběhovou rampu, která by brzdila již rozběhnutý rotor a způsobila by velké proudové rázy. Vypnutí se provede nastavením časové rampy na 0, čímž se docílí, že frekvence bude ihned po spuštění 50 Hz. Tento postup je popsán na obrázku 4.19.



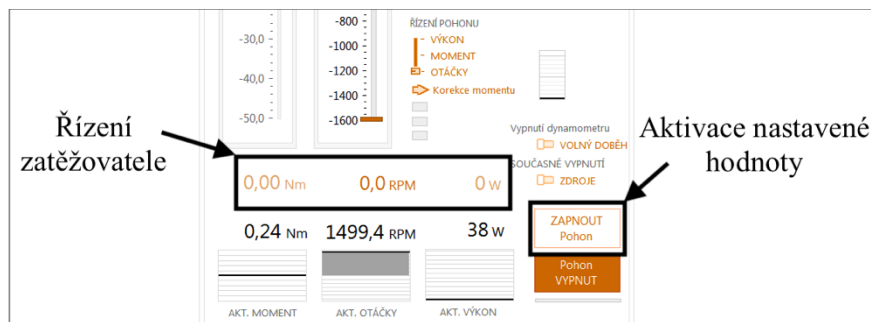
Obrázek 4.19: Nastavení časové rampy

Po vypnutí frekvenční rampy je možné spustit motor. Rozběh motoru se provede nastavením napětí na požadovanou hodnotu a stisknutím tlačítka **zapnout zdroj** (viz obrázek 4.20). Pokud se skutečná hodnota liší od nastavené, stiskne se tlačítko **rychlá korekce**, která odchylku odstraní. Napětí zůstane po celou dobu měření konstantní.



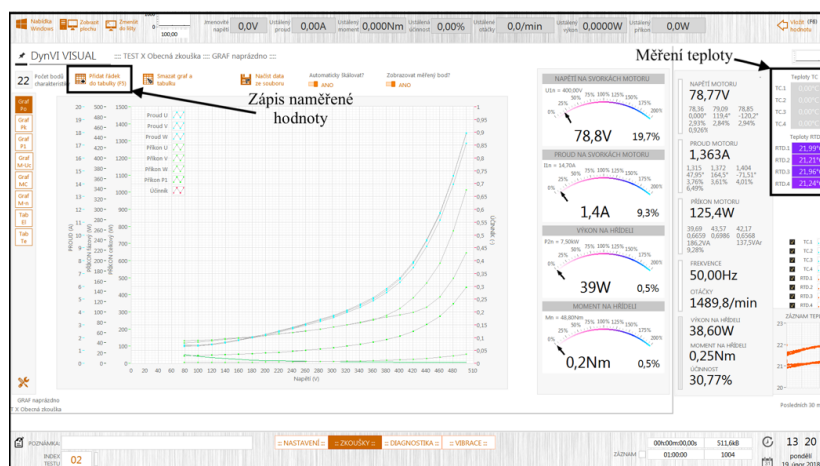
Obrázek 4.20: Ovládání zdroje

Když je soustrojí v běhu, začne se motor zatěžovat zatěžovatelem. Řízení zatěžovatele je možné pomocí aktuálního momentu, otáček a výkonu. Pro měření zatěžovacích charakteristik je nejvhodnější řízení pomocí aktuálního výkonu. Výpočtem se určí hodnota zatížení na 110 % jmenovitého výkonu, nastaví se tato hodnota na zatěžovateli a stiskne se tlačítko **zapnout pohon**. Toto tlačítko slouží pro rozběh, ale taky pro potvrzení nastavené hodnoty (viz obrázek 4.21).



Obrázek 4.21 Řízení zatěžovatele

Naměřené hodnoty se zobrazí na levé obrazovce jako šedý bod v grafu. Zápis do grafu se provede tlačítkem **přidat řádek do tabulky**, přičemž se hodnoty automaticky zapíší do souboru, který lze otevřít v programu Microsoft Excel. Tento postup se provede pro alespoň 8 různých hodnot zatížení sestupně od 110 % jmenovitého výkonu až do chodu naprázdno. Obrazovka s grafickým zobrazením hodnot a všemi naměřenými aktuálními hodnotami je zobrazena na *obrázku 4.22*.



Obrázek 4.22: Grafické zobrazení naměřených hodnot

Při měření je možné sledovat také naměřené hodnoty v kolonce **diagnostika** na levé obrazovce, kde se zobrazují v jednom grafu aktuální hodnoty napětí, proudu, výkonu a v druhém grafu se zobrazují aktuální hodnoty otáček a momentu. Napětí a proudy jsou také zobrazeny ve vektorovém diagramu pro lepší znázornění fázových posuvů mezi jednotlivými fázemi. Tato obrazovka je zobrazena na *obrázku 4.23*.



Obrázek 4.23: Obrazovka s grafickým zobrazením aktuálních hodnot

Tabulka 4.4: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

$U_1(V)$	$I_1(A)$	$P_1(W)$	$\cos \varphi_1(-)$	n (ot/min)	$M(Nm)$	$P_2(W)$	$s(\%)$	$\eta(\%)$
400,04	18,64	10732	0,8309	1459	61,35	9386	2,73	87,46
400,02	16,96	9679	0,8237	1464	56,31	8645	2,40	89,31
400,02	14,93	8358	0,8080	1469	48,75	7510	2,07	89,85
399,98	11,84	6225	0,7589	1478	36,28	5623	1,47	90,33
400,02	9,29	4201	0,6527	1485	24,15	3761	1,00	89,52
400,02	7,27	2228	0,4423	1492	12,72	1990	0,53	89,32

Příklad výpočtu:

Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} = \frac{10732}{\sqrt{3} \cdot 400,04 \cdot 18,64} = 0,8309 \quad (4.11)$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60} = 61,35 \cdot \frac{2 \cdot \pi 1459}{60} = 9386W \quad (4.12)$$

Synchronní otáčky

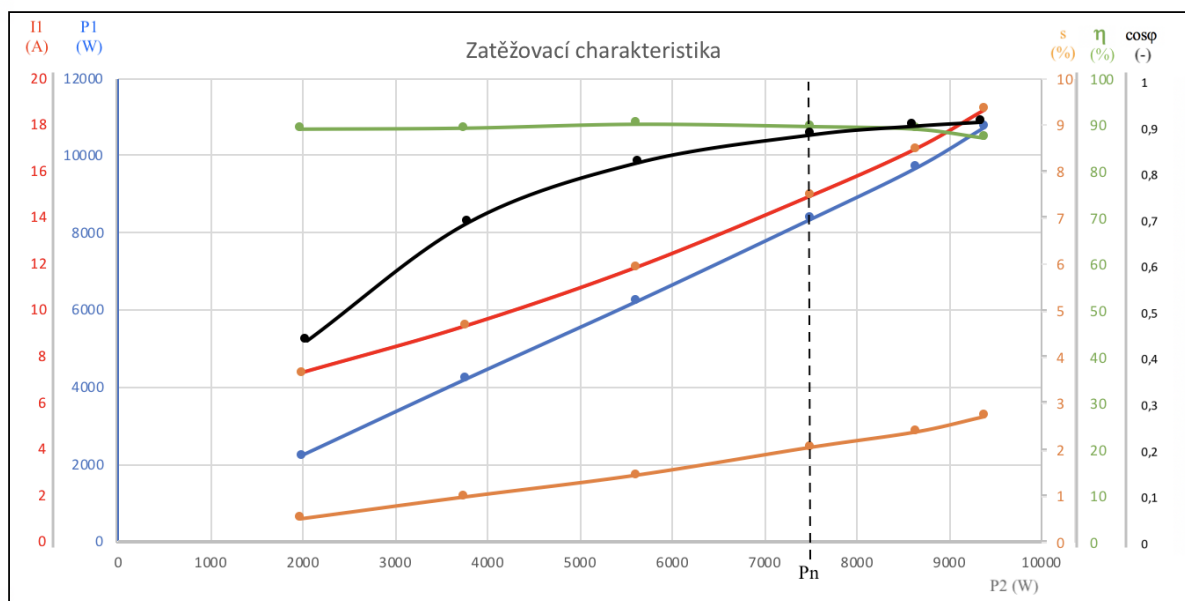
$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ ot/min} \quad (4.13)$$

Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1459}{1500} \cdot 100 = 2,73\% \quad (4.14)$$

Účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{9386}{10732} \cdot 100 = 87,46\% \quad (4.15)$$



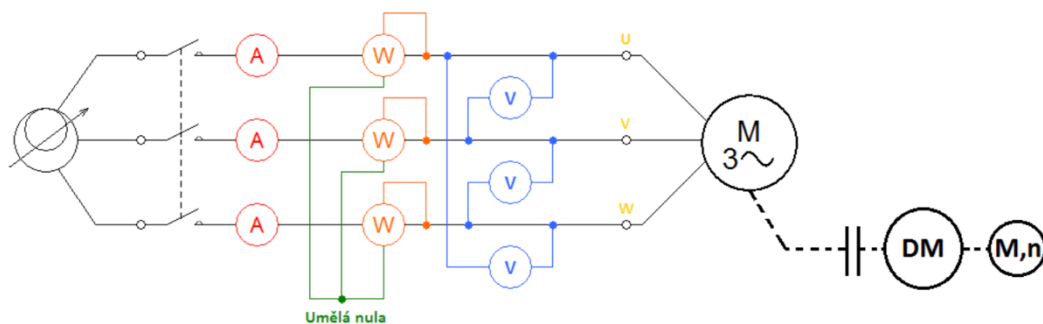
Obrázek 4.24: Graf zatěžovací charakteristiky při jmenovitém napětí

Tabulka 4.5: Porovnání jmenovitých hodnot na štítku stroje a naměřených hodnot

	I_n (A)	s_n (%)	η_n (%)	$\cos \varphi_n$ (-)
Hodnoty na štítku	14,7	2,33	88,7	0,83
Naměřené hodnoty	14,5	2,3	89	0,88

4.4 Měření regulačních charakteristik

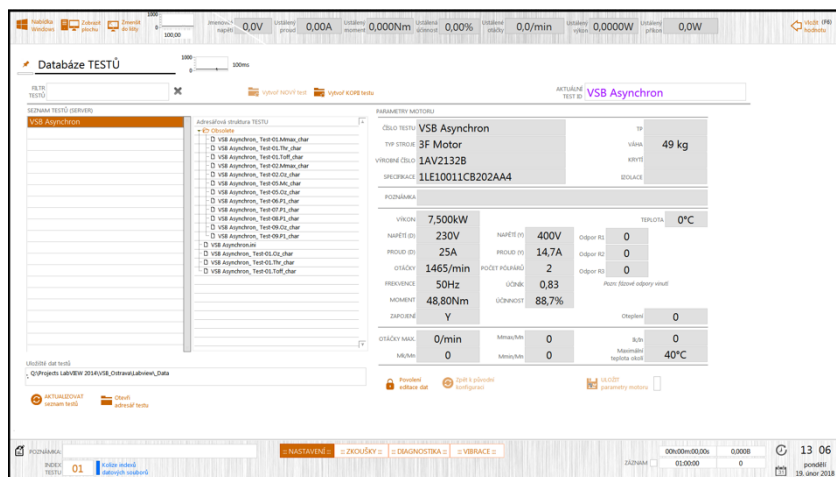
Při měření regulačních charakteristik se provádí změna napětí od 75 % do 125 % U_N při konstantním zatížení v momentové vazbě. Výsledkem zkoušky je stejně jako u zatěžovacích charakteristik ověření parametrů uvedených na štítku motoru. Měřené elektrické veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou aktuální moment a otáčky.



Obrázek 4.25: Schéma zapojení pro měření regulačních charakteristik

Postup měření

Před měřením je nutné na úvodní obrazovce zvolit štítek měřeného motoru. Pokud parametry motoru nejsou zapsané v databázi, zápis se provede ručně do vytvořené tabulky. Úvodní obrazovka je zobrazena na *obrázku 4.26*.



Obrázek 4.26: Úvodní obrazovka

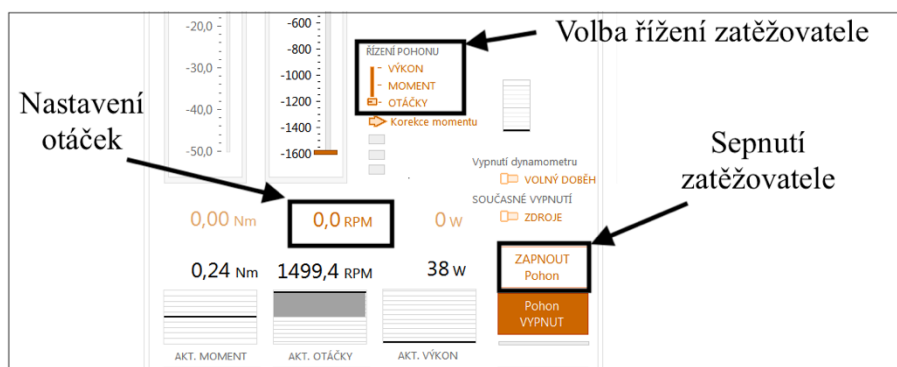
Po nastavení parametrů motoru se přejde do kolonky **zkoušky**, kde se na levé obrazovce zobrazují naměřené hodnoty a na pravé se provádí ovládání pracoviště. Ve sloupci nastavení testů jsou naprogramované základní zkoušky. Při vybrání automatické zkoušky stačí nastavit potřebné parametry, uvedené v levém sloupci a po stisknutí tlačítka **zapnout test** se zkouška provede automaticky. Měření regulačních charakteristik je uloženo pod názvem **MC**. Pro ruční měření je vytvořena zkouška s názvem **X**, ve které lze zdroj i zatěžovatel regulovat libovolně. Ovládací obrazovka pro zkoušku **MC** je zobrazena na *obrázku 4.27*.



Obrázek 4.27: Ovládací obrazovka pro MC zkoušku

Měření regulačních charakteristik je lepší provést v automatickém režimu, jelikož je zde uveden přesný postup pro provedení zkoušky a je možné nastavit přesnou dobu rampy, po které se napětí bude pohybovat. Jako první se provede rozběh soustrojí zatěžovatel a motor. Nejprve se roztocí zatěžovatel,

a poté motor. Rozběh zatěžovatele se provede nastavením otáček na synchronní otáčky měřeného motoru a stiskne se tlačítko **zapnout pohon** (viz obrázek 4.28).



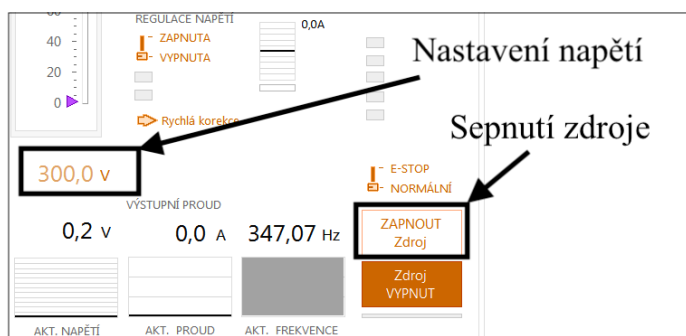
Obrázek 4.28: Rozběh zatěžovatele

Po roztočení zatěžovatele se přejde k rozběhu motoru. Před nastavením napětí na motoru je nutné vypnout frekvenční rozběhovou rampu, která by začala brzdit již rozběhnutý rotor a způsobila by velké proudové rázy. Vypnutí se provede nastavením časové rampy na 0, čímž se docílí, že frekvence bude ihned po spuštění 50 Hz. Tento postup je popsán na obrázku 4.29.



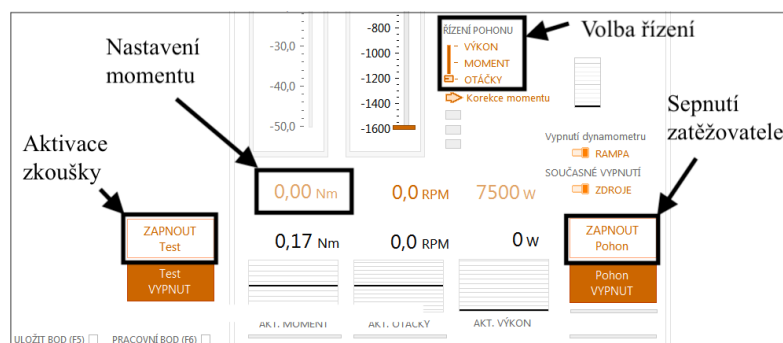
Obrázek 4.29: Nastavení časové rampy

Po vypnutí frekvenční rampy je možné spustit motor. Rozběh motoru se provede nastavením napětí na 75 % U_N a stisknutím tlačítka **zapnout zdroj** (viz obrázek 4.30). Pokud se skutečná hodnota liší od nastavené, stiskne se tlačítko **rychlá korekce**, která odchylku odstraní.



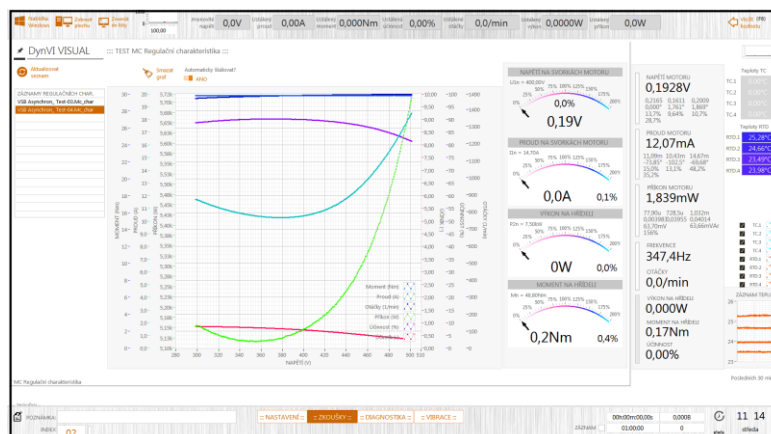
Obrázek 4.30: Sepnutí zdroje

Když je soustrojí v běhu, zatíží se motor na požadovaný moment. Nastavení momentu se provede zápisem na požadovanou hodnotu a stisknutím tlačítka **zapnout pohon**, přičemž moment zůstane po dobu měření konstantní (viz obrázek 4.31). Po zatížení motoru se stiskne tlačítko **zapnout test** a zkouška se začne vykonávat automaticky.



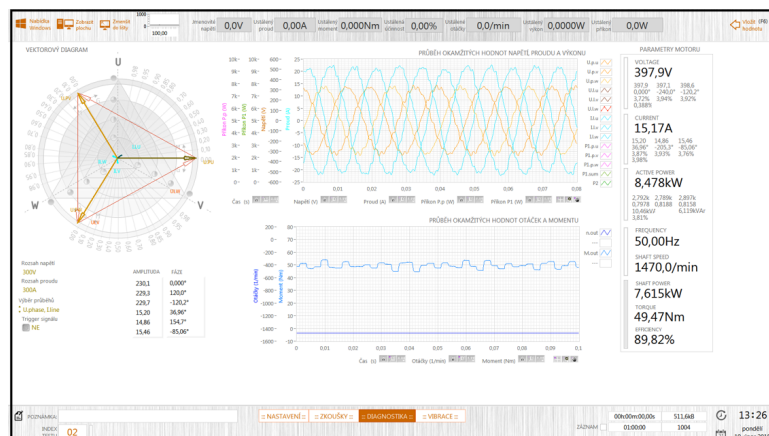
Obrázek 4.31: Řízení zatěžovatele

Naměřené hodnoty se vykreslují v grafu na levé obrazovce a zároveň se zapisují do souboru, který lze otevřít v programu Microsoft Excel. Po ukončení měření se provede ruční odlehčení motoru nastavením momentu na nulovou hodnotu, a poté se vypne celé soustrojí. Obrazovka s naměřenými hodnotami je zobrazena na *obrázku 4.32*.



Obrázek 4.32: Obrazovka s grafickým zobrazením naměřených hodnot

Při měření je možné sledovat také naměřené hodnoty v kolonce **diagnostika** na levé obrazovce, kde se zobrazují v jednom grafu aktuální hodnoty napětí, proudu, výkonu a v druhém grafu se zobrazují aktuální hodnoty otáček a momentu. Napětí a proudy jsou také zobrazeny ve vektorovém diagramu pro lepší znázornění fázových posuvů mezi jednotlivými fázemi. Tato obrazovka je zobrazena na *obrázku 4.33*.



Obrázek 4.33: Obrazovka s grafickým zobrazením aktuálních hodnot

Tabulka 4.6: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

U_1 (V)	I_1 (A)	P_1 (W)	$\cos \varphi_1$ (-)	n (ot/min)	M (Nm)	P_2 (W)	s (%)	η (%)
300,28	11,66	5154	0,850	1465	29,81	4573	2,33	88,73
320,33	11,05	5131	0,837	1470	29,81	4589	2,00	89,43
340,04	10,62	5118	0,818	1474	29,81	4601	1,73	89,91
360,36	10,35	5118	0,792	1477	29,81	4611	1,53	90,09
380,14	10,27	5125	0,758	1480	29,82	4622	1,33	90,18
400,47	10,42	5147	0,712	1482	29,83	4629	1,20	89,94
420,17	10,87	5180	0,655	1484	29,81	4633	1,07	89,43
440,55	11,81	5242	0,582	1485	29,82	4637	1,00	88,46
460,19	13,30	5334	0,503	1486	29,81	4639	0,93	86,97
480,40	15,49	5480	0,425	1487	29,81	4642	0,87	84,71
501,13	18,48	5711	0,356	1488	29,84	4650	0,80	81,42

Příklad výpočtu:

Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} = \frac{5154}{\sqrt{3} \cdot 300,28 \cdot 11,66} = 0,850 \quad (4.16)$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 29,81 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1465}{60} = 4573 \text{ W} \quad (4.17)$$

Synchronní otáčky

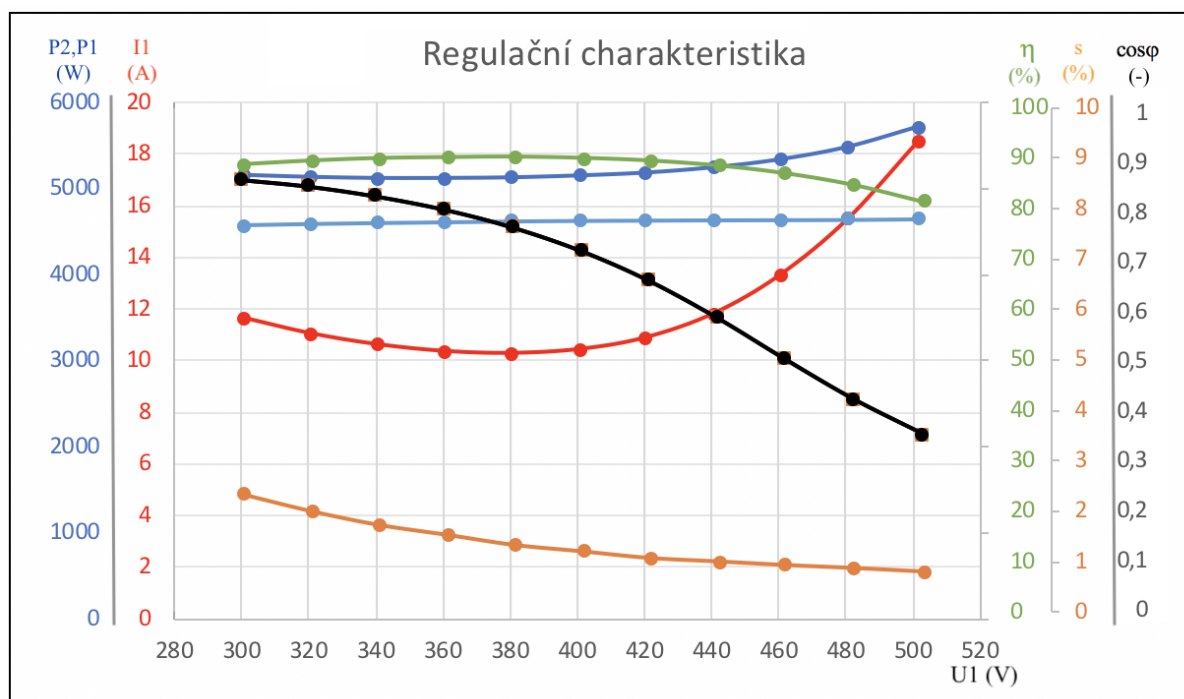
$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ ot/min} \quad (4.18)$$

Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1465}{1500} \cdot 100 = 2,33\% \quad (4.19)$$

Účinnost

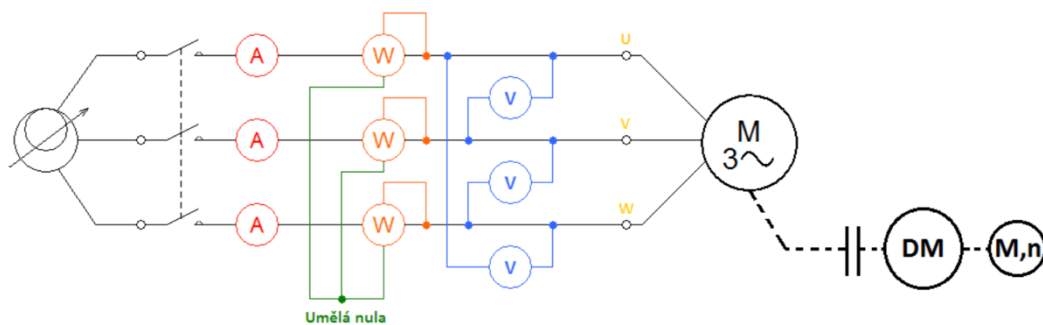
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{4573}{5154} \cdot 100 = 88,73\% \quad (4.20)$$



Obrázek 4.34: Graf regulační charakteristiky

4.5 Měření momentové charakteristiky

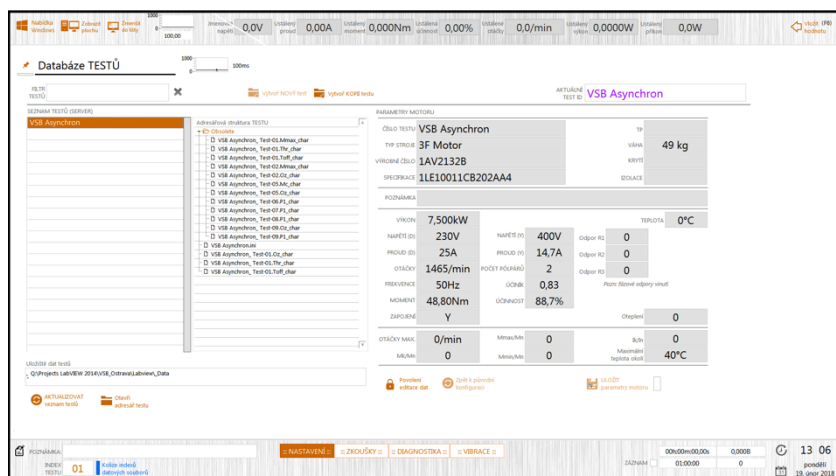
Při měření momentové charakteristiky se při zvoleném konstantním napětí provádí změna otáček, a tím dochází k postupnému zatěžování stroje. Měřené elektrické veličiny jsou napětí a proud v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou aktuální otáčky a moment. Z vykreslené momentové charakteristiky se určuje maximální moment (moment zvratu) a vypočte se skluz zvratu.



Obrázek 4.35: Schéma zapojení pro měření momentové charakteristiky

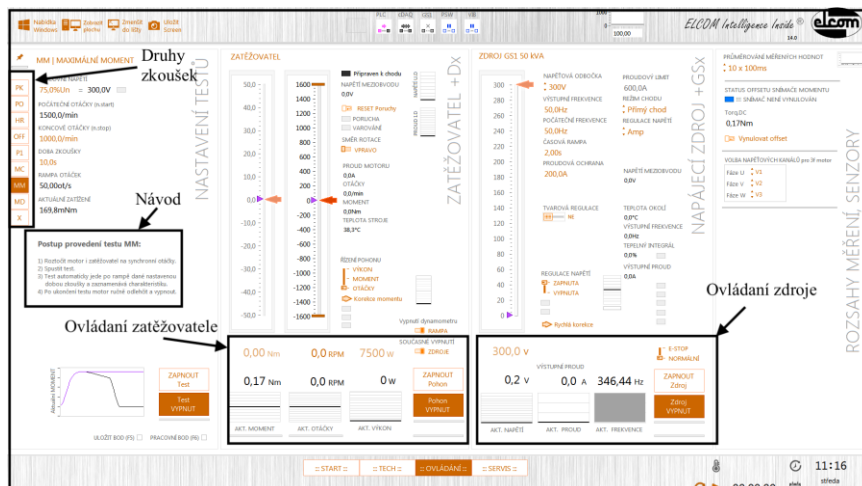
Postup měření

Před měřením je nutné na úvodní obrazovce zvolit štítek měřeného motoru. Pokud parametry motoru nejsou zapsané v databázi, zápis se provede ručně do vytvořené tabulky. Úvodní obrazovka je zobrazena na obrázku 4.36.



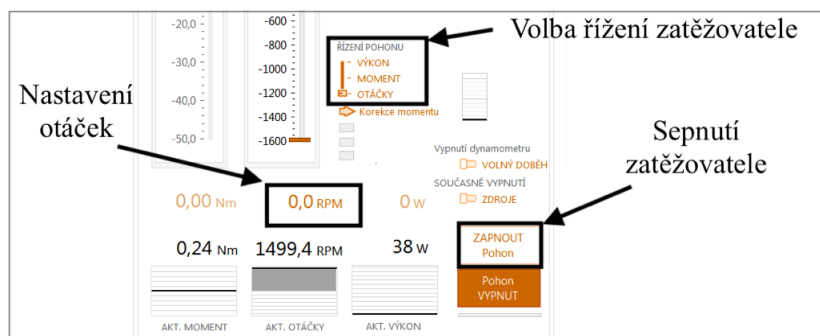
Obrázek 4.36: Úvodní obrazovka

Po nastavení parametrů motoru se přejde do kolonky **zkoušky**, kde se na levé obrazovce zobrazují naměřené hodnoty a na pravé se provádí ovládání pracoviště. Ve sloupci nastavení testů jsou naprogramované základní zkoušky. Při vybrání zkoušky stačí nastavit potřebné parametry, které jsou uvedené v levém sloupci a po stisknutí tlačítka **zapnout test** se zkouška provede automaticky. Měření momentové charakteristiky je uloženo pod názvem **MM**. Pro ruční měření je vytvořena zkouška s názvem **X**, ve které lze zdroj i zatěžovatel regulovat libovolně. Ovládací obrazovka pro zkoušku **MM** je zobrazena na obrázku 4.37.



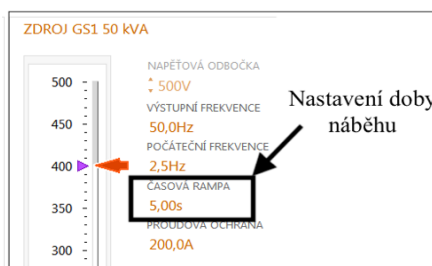
Obrázek 4.37: Ovládací obrazovka pro MM zkoušku

Měření momentové charakteristiky je lepší provést v automatickém režimu, kvůli požadavku na rychlost provedení zkoušky, a také je zde uveden návod na přesný postup měření. První se rozběhne soustrojí zatěžovatel a motor. Nejprve se roztočí zatěžovatel na synchronní otáčky motoru, a poté se přivede napětí na motor. Rozběh zatěžovatele se provede zápisem potřebné hodnoty a stisknutím tlačítka **zapnout pohon**. Tento postup je zobrazen na *obrázku 4.38*.



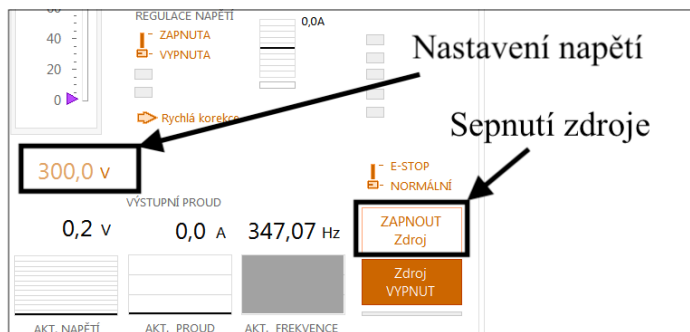
Obrázek 4.38: Rozběh zatěžovatele

Po roztočení zatěžovatele se přejde k rozběhu motoru. Před nastavením napětí na motoru je nutné vypnout frekvenční rozběhovou rampu, která by začala brzdít již roztočený rotor a způsobila by velké proudové rázy. Vypnutí se provede nastavením časové rampy na 0, čímž se docílí, že frekvence bude ihned po spuštění 50 Hz. Tento postup je popsán na *obrázku 4.39*.



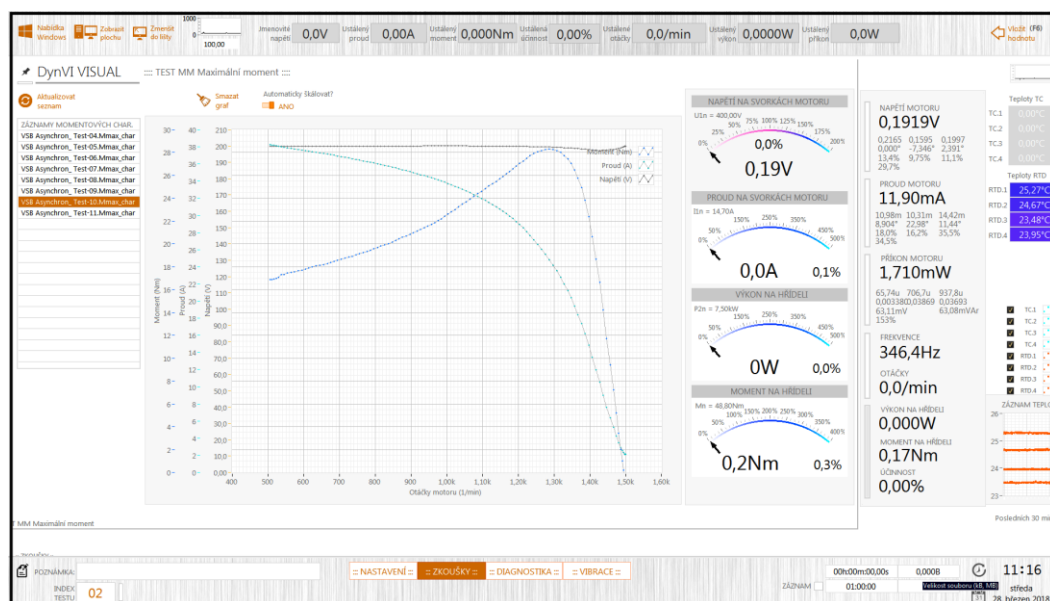
Obrázek 4.39: Nastavení časové rampy

Po vypnutí frekvenční rampy je možné spustit motor. Rozběh motoru se provede nastavením napětí na hodnotu, při které se bude zatěžovat a stiskne se tlačítko **zapnout zdroj** (viz obrázek 4.40). Pokud se skutečná hodnota liší od nastavené, stiskne se tlačítko **rychlá korekce**, která odchylku odstraní.



Obrázek 4.40: Ovládání zdroje

Když je soustrojí v běhu stiskne se tlačítko **zapnout test** a měření se začne provádět automaticky. Naměřené hodnoty se zobrazují na levé obrazovce, přičemž se naměřené hodnoty zapisují do souboru, který lze otevřít v programu Microsoft Excel. Po ukončení měření se provede ruční odlehčení motoru nastavením momentu na nulovou hodnotu, a poté se vypne celé soustrojí. Obrazovka s naměřenými hodnotami je zobrazena na obrázku 4.41.



Obrázek 4.41: Grafické zobrazení naměřených hodnot

Tabulka 4.7: Tabulka naměřených a vypočtených hodnot

U_1 (V)	I_1 (A)	M_{nam} (Nm)	n (ot/min)	M_{vyp} (Nm)
199,95	2,54	1,00	1491	4
199,98	13,43	20,64	1406	82,56
199,89	23,52	28,17	1308	112,68
199,75	28,92	27,05	1203	108,2
199,97	31,74	24,86	1107	99,44
200,07	33,72	22,60	1003	90,4
200,02	34,99	20,97	907	83,88
200,01	36,02	19,69	806	78,76
200,01	36,85	18,67	705	74,68
200,03	37,58	17,79	604	71,16
200,03	38,24	16,86	507	67,44

Příklad výpočtu:

Přepočet momentu na jmenovitou hladinu napětí

$$M_{vyp} = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \cdot M_{nam} = \left(\frac{400}{200}\right)^2 \cdot 22,6 = 90,4 Nm \quad (4.21)$$

Jmenovitý moment stroje

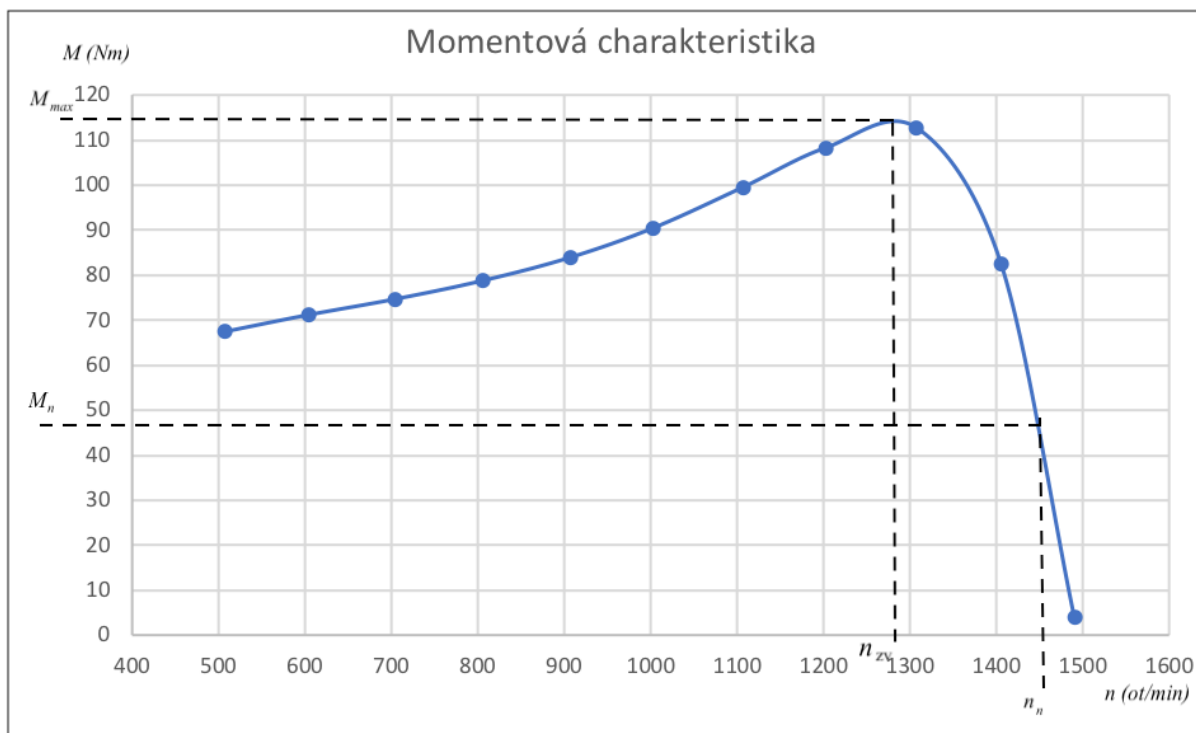
$$M_n = \frac{P_N}{\omega_n} = \frac{P_N}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60}} = \frac{7500}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1465}{60}} = 48,89 Nm \quad (4.22)$$

Skluz zvratu:

$$s_{zv} = \frac{n_{s1} - n_{zv}}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1290}{1500} \cdot 100 = 14\% \quad (4.22)$$

Maximální moment odečtený z charakteristiky

$$M_{max} = 114 Nm$$



Obrázek 4.42: *Momentová charakteristika s přepočteným momentem*

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření návodů a vzorových protokolů pro měření základních elektrických zkoušek asynchronního motoru na novém laboratorním pracovišti v učebně elektrických strojů EB018. V teoretické části jsem se zabýval normativními požadavky na zkušební elektrických strojů a požadavky na provedení zkoušek naprázdno, nakrátko a zatěžovací charakteristiky. Dále jsem provedl rozbor laboratorního pracoviště, ve kterém jsem popsal jednotlivé technologické části a vysvětlil jejich funkce. V praktické části jsem poté vytvořil sadu návodů na měření úloh pro asynchronní motor. Vzorové protokoly s vyplněnou i nevyplněnou verzí jsou k naleznutí v příloze bakalářské práce. Byly provedeny zkoušky naprázdno, nakrátko, zatěžovací charakteristiky při konstantním napětí, regulační charakteristiky při konstantním momentu a zkouška pro vykreslení momentové charakteristiky.

Vytvořené návody slouží k rychlejšímu seznámení se s vytvořenou aplikací a popisu přesnému postupu měření laboratorních úloh. Nové laboratorní pracoviště je navrženo tak, aby zkoušky probíhaly obdobně, jako ve zkušebnách elektrických strojů. Řízení celého pracoviště je prováděno pomocí virtuálního panelu, který je vytvořen ve vývojovém prostředí LabView. Aplikace umožňuje provedení všech základních elektrických zkoušek v automatickém režimu. Výhoda tohoto režimu je, že zkouška proběhne v krátkém čase a díky tomu se můžou zkoušky, při kterých dochází k velkému oteplování motoru provádět při jmenovitém napětí. V aplikaci je také možnost všeobecné zkoušky, ve které je ovládání motoru i zatěžovatele libovolné.

Zkoušku naprázdno jsem provedl v režimu tzv. obecné zkoušky, při které jsou nezávislé veličiny ovládány z řídicího panelu obsluhou pracoviště. Změřil jsem odpor statorového vinutí mezi fázemi a vypočetl průměrnou hodnotu odporu jedné fáze. Z této hodnoty jsem vypočetl ztráty ve statorovém vinutí a odečtením od ztrát naprázdno konstantní ztráty. Z grafu jsem určil hodnotu mechanických ztrát průsečíkem extrapolované křivky ztrát s osou výkonu a následně jsem vypočetl ztráty v železe. Dále jsem vypočetl procentuální proud naprázdno, který je dán podílem proudu naprázdno při jmenovitém napětí a jmenovitého proudu.

Zkoušku nakrátko jsem provedl rovněž v režimu obecné zkoušky. Z naměřených hodnot jsem vypočetl procentuální napětí nakrátko, které je dáno podílem napětí při jmenovitém proudu a jmenovitého napětí. Díky tomu, že je křivka proudu lineární jsem vypočetl proud nakrátko při jmenovitém napětí. Tato hodnota proudu odpovídá hodnotě záběrného proudu po připojení jmenovitého napětí a jmenovité frekvence.

Zatěžovací zkoušku jsem provedl v režimu automatické zkoušky, aby se měření mohlo provést při jmenovitém napětí. Z naměřených hodnot jsem vykreslil zatěžovací charakteristiku. Naměřené hodnoty proudu, účinnosti, účinnosti a skluzu při jmenovitém výkonu odpovídaly štitkovým hodnotám.

Regulační zkoušku jsem pak provedl v režimu automatické zkoušky, ve které celé řízení nezávislých veličin během měření zajišťuje sám měřicí systém. Z naměřených hodnot jsem sestrojil graf regulačních charakteristik.

Zatěžovací zkoušku pro vykreslení momentové charakteristiky jsem provedl opět v režimu automatické zkoušky. Zkouška byla provedena pro snížené napětí, takže bylo nutné přepočítat hodnoty momentu pro jmenovité napětí. Z grafu jsem určil maximální moment (moment zvratu) a vypočetl skluz zvratu.

Použitá literatura

- [1] STÝSKALA, Vítězslav a Jan DUDEK. *Elektrické stroje- Úvod: Asynchronní motory* [online]. VŠB- TUO, 2007 [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/1_AM_FS.pdf
- [2] HRABOVCOVÁ, Valéria a Pavol RAFAJDUS. *Elektrické stroje: Teória a príklady*. Žilina: Žilinská univerzita, 2009. ISBN 978-80-554-0101-0.
- [3] RUSNOK, Stanislav a Pavel SOBOTA. *Cvičení z elektrických strojů* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2013 [cit. 2017-11-27]. ISBN 978-80-248-3288-3. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/stroje/skripta/Cviceni_z_elektrickych_stroju.pdf
- [4] ČSN 35 0301: *Točivé elektrické stroje- skúšanie asynchrónnych motorov*. Český normalizační institut. Praha, 2008.
- [5] ČSN 35 0010: *Točivé elektrické stroje - zkoušky*. Praha: Vydavatelství norem, 1992.
- [6] ČSN EN 60034-28: *Točivé elektrické stroje- Zkušební metody určování veličin pro náhradní obvodová schémata trojfázových nízkonapětových asynchronních motorů nakrátko*. Brno: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [7] *Technický popis a návod k obsluze laboratorního pracoviště*. Ostrava, 2017.
- [8] DUDEK, Jan. *Školení odborné kvalifikace osob v elektrotechnice dle vyhl. 50/1978* [online]. Ostrava- Poruba: VŠB-TU Ostrava, 2016 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/bezpecnost/prezentace_prednaska.pdf

Seznam příloh

Příloha A: *Vzorové protokoly*

Příloha B: *Šablony protokolů*

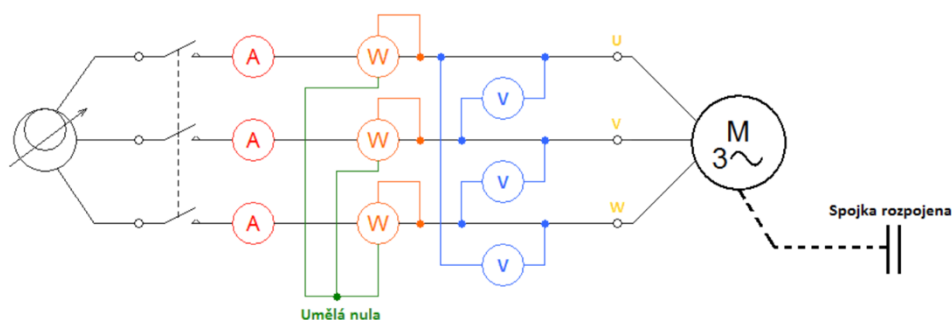
Měření asynchronního motoru naprázdno

Měřením naprázdno se zjišťuje proud, ztráty a účinník naprázdno v závislosti na napájecím napětí. Výpočtem se získají konstantní ztráty, které se skládají ze ztrát v železe a mechanických ztrát. Dále se vypočte procentuální proud naprázdno při jmenovitém napětí.

Zadání:

1. Proved'te měření asynchronního motoru ve stavu naprázdno.
2. Vypočtete účinník naprázdno, ztráty ve satorovém vinutí naprázdno a konstantní ztráty.
3. Z naměřených hodnot vyneste grafickou závislost ztrát naprázdno, proudu naprázdno, účinníku naprázdno na napětí naprázdno.
4. Z charakteristiky určete procentuální proud naprázdno a určete mechanické ztráty.
5. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Měření se provádí bez zatížení motoru se skluzem blížícím se k nule. Po rozběhnutí se zvýší napájecí napětí na maximální hodnotu, kdy proud je roven maximálně 150 % jmenovitému. Poté se napětí postupně snižuje až na hodnotu, dokud se nezačne zvyšovat satorový proud a provádí se zápis naměřených hodnot pro alespoň 8 různých hodnot napětí. Po ukončení měření se změří odpor satorového vinutí. Měřené veličiny jsou napětí proud a příkon v každé fázi.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_{10}(\text{V})$	$I_{10}(\text{A})$	$P_{10}(\text{W})$	$\cos \varphi_{10}(-)$	$\Delta P_{j10}(\text{W})$	$\Delta P_K(\text{W})$	$\Delta P_{fe}(\text{W})$
497,06	17,18	961,42	0,065	460,44	500,98	405,98
449,29	10,30	528,72	0,066	165,50	363,22	267,22
400,03	6,46	350,99	0,078	65,10	285,89	190,89
350,76	4,69	272,04	0,095	34,31	237,73	142,73
301,02	3,63	224,17	0,118	20,56	203,61	108,61
252,67	2,89	190,82	0,151	13,03	177,79	82,79
202,65	2,24	162,95	0,207	7,83	155,12	60,12
151,59	1,71	139,23	0,309	4,56	134,67	39,67
101,35	1,33	122,56	0,522	2,76	119,80	24,8
81,059	1,30	117,31	0,643	2,64	114,67	19,67

Příklad výpočtu:

Naměřený odpor mezi fázemi

$$R_{12} = 1,036\Omega$$

$$R_{13} = 1,04\Omega$$

$$R_{23} = 1,045\Omega$$

Naměřený průměrný odpor mezi fázemi

$$R_{lIm} = \frac{R_{12}+R_{13}+R_{23}}{3} = \frac{1,036+1,04+1,045}{3} = 1,04\Omega$$

Odpor statorového vinutí jedné fáze

$$R_{s25} = \frac{1}{2} \cdot R_{lIm} = \frac{1}{2} \cdot 1,04 = 0,52\Omega$$

Účinník

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} = \frac{961,42}{\sqrt{3} \cdot 497,06 \cdot 17,18} = 0,065$$

Ztráty ve statorovém vinutí

$$\Delta P_{j10} = 3 \cdot I_{10}^2 \cdot R_{s25} = 3 \cdot 17,18^2 \cdot 0,52 = 460,44\text{W}$$

Konstantní ztráty

$$\Delta P_K = P_{10} - \Delta P_{j10} = 961,42 - 460,44 = 500,98\text{W}$$

Mechanické ztráty určené jako průsečík extrapolované křivky ztrát s osou výkonu

$$\Delta P_{mech} = 95W$$

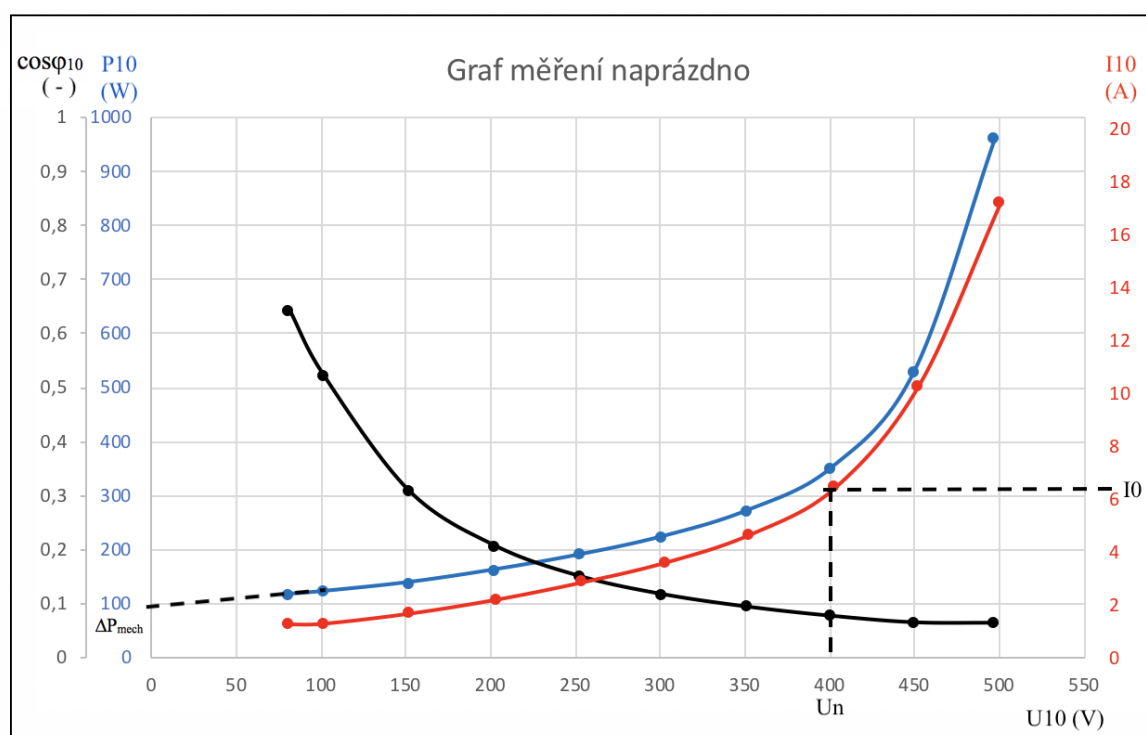
Ztráty v železe

$$\Delta P_{fe} = \Delta P_K - \Delta P_{mech} = 500,98 - 95 = 405,98W$$

Procentuální proud naprázdno

$$i_0 = \frac{I_0}{I_N} \cdot 100 = \frac{6,2}{14,7} \cdot 100 = 42\%$$

Grafy:



Závěr:

Při měření asynchronního motoru ve stavu naprázdno jsem změřil odpor statorového vinutí jedné fáze $R_s = 0,52 \Omega$ a vypočetl jednotlivé ztráty. Pro jmenovité napětí byly ztráty ve statorovém vinutí $\Delta P_{j10} = 65,1W$ a konstantní ztráty $\Delta P_K = 500,98W$. Z grafu jsem určil hodnotu mechanických ztrát $\Delta P_m = 95 W$ a následně vypočetl ztráty v železe $\Delta P_{fe} = 190,9W$. Dále jsem vypočetl procentuální proud naprázdno $I_{10\%} = 42 \%$.

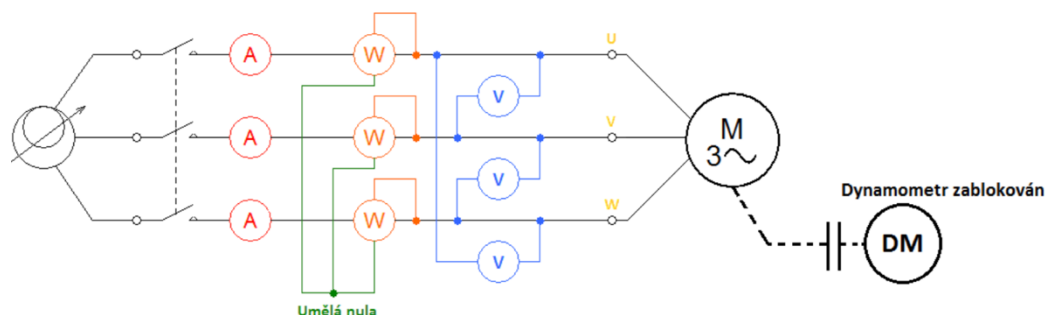
Měření asynchronního motoru nakrátko

Měřením nakrátko se zjišťuje proud, ztráty a účinník nakrátko v závislosti na napájecím napětí. Z vykreslených charakteristik se určuje procentuální napětí nakrátko a proud nakrátko při jmenovitém napětí.

Zadání:

1. Proved'te měření asynchronního motoru ve stavu nakrátko.
2. Z naměřených hodnot vynesete grafickou závislost ztrát nakrátko, proudu nakrátko, účinníku nakrátko na napětí nakrátko.
3. Z charakteristiky určete procentuální napětí nakrátko a vypočtete proud nakrátko při jmenovitém napětí.
4. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Měření se provádí při zabrzděné hřídeli, která se upevní speciálním čepem. Na svorky statorového vinutí se nejprve přiloží nízké napětí s jmenovitým kmitočtem. Poté se napětí co nejrychleji zvýší na hodnotu, kdy proud je roven 150 % jmenovitého proudu. Následně se zapíše naměřené hodnoty a motor se ihned vypne. Tento postup se opakuje pro alespoň 8 hodnot napětí rovnoměrně rozložených od 150 % do 10 % jmenovitého proudu. Měření musí být provedeno co nejrychleji. Měřené veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_{1k}(V)$	$I_{1k}(A)$	$P_{1k}(W)$	$\cos \varphi_{1k}(-)$
16,74	1,55	15,79	0,351
43,79	5,86	159,03	0,358
68,61	10,47	469,62	0,377
77,01	12,12	621,24	0,384
93,67	15,55	1004,72	0,398
101,95	17,33	1240,48	0,405
110,17	19,15	1506,84	0,412
134,65	24,83	2504,61	0,433
156,85	30,26	3676,19	0,447

Příklad výpočtu:

$$\text{Účinit } \cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{\sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k}} = \frac{15,79}{\sqrt{3} \cdot 16,74 \cdot 1,55} = 0,351$$

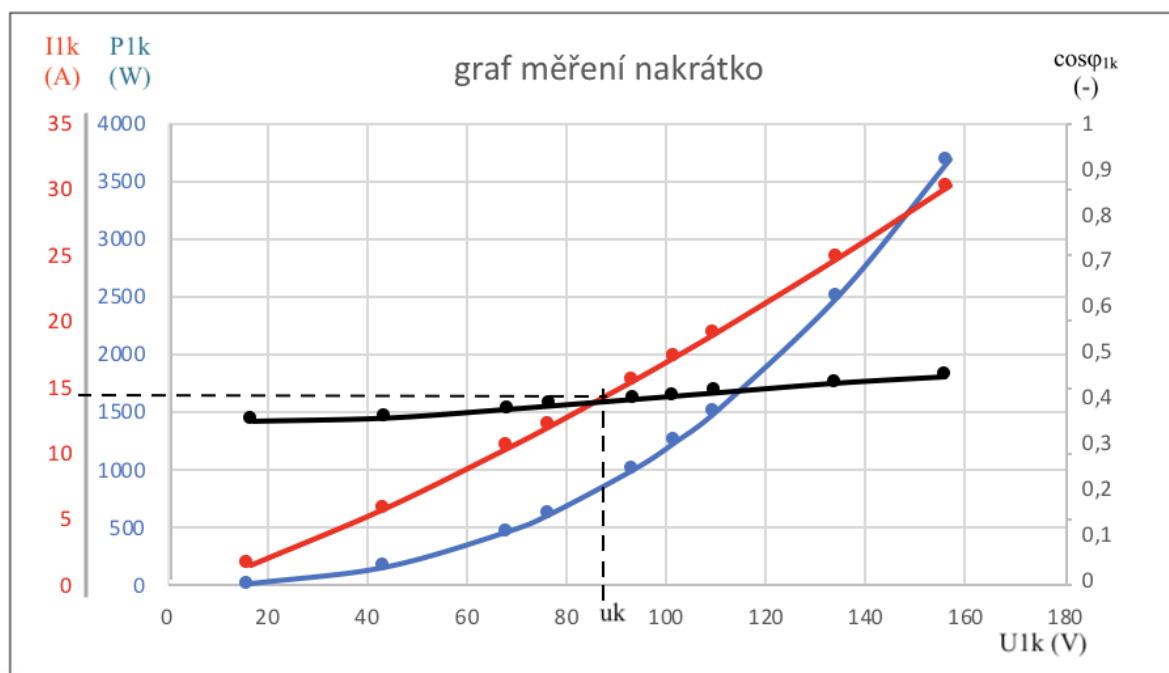
Proud nakrátko při jmenovitém napětí

$$I_{KN} = I_k \cdot \frac{U_N}{U_K} = 30,26 \cdot \frac{400}{156,85} = 77,17 A$$

Procentuální napětí nakrátko

$$u_k = \frac{U_k}{U_{kn}} \cdot 100 = \frac{88}{400} \cdot 100 = 22\%$$

Grafy:



Závěr:

Při měření asynchronního motoru ve stavu nakrátko jsem z naměřených hodnot vypočetl procentuální napětí nakrátko $u_{k\%} = 22\%$ a díky tomu, že je křivka proudu lineární jsem vypočetl proud nakrátko při jmenovitém napětí $I_{kn} = 77,17$ A. Tato hodnota proudu odpovídá hodnotě záběrného proudu po připojení jmenovitého napětí a jmenovité frekvence.

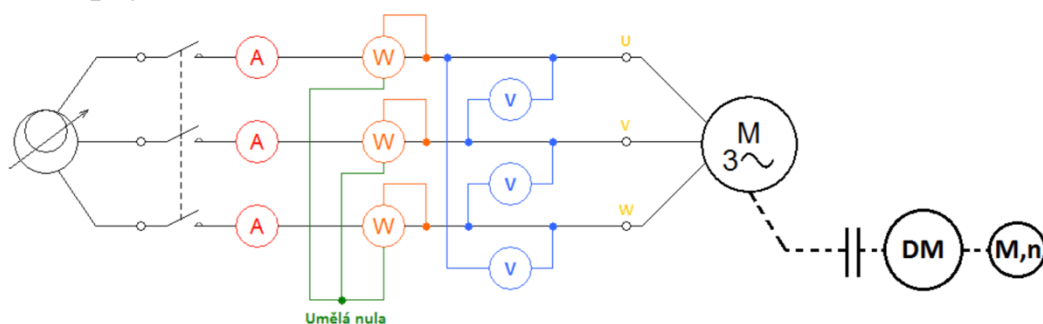
Měření zatěžovacích charakteristik asynchronního motoru

Měření zatěžovacích charakteristik se provádí kontrola účinnosti, účíniku a skluzu, které jsou uvedené na štítku stroje.

Zadání:

1. Proved'te měření zatěžovacích charakteristik asynchronního motoru.
2. Vypočtete účiník, mechanický výkon, skluz a účinnost pro měřené napětí.
3. Z naměřených hodnot vynesete grafickou závislost proudu, příkonu, účíniku, skluzu a účinnosti v závislosti na mechanickém výkonu.
4. Porovnejte hodnoty na štítku stroje s naměřenými hodnotami.
5. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Na motor se nejprve přivede napětí, které se při měření udržuje po celou dobu konstantní. Poté se motor zatíží na 110 % jmenovitého zatížení a postupně se zatížení snižuje až do chodu naprázdno. Měří se alespoň 8 hodnot pro různé hodnoty zatížení. Měřené elektrické veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou aktuální moment a otáčky. Pokud je nastavené napětí jiné než jmenovité, musí se provést přepočet naměřených hodnot.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_1(\text{V})$	$I_1(\text{A})$	$P_1(\text{W})$	$\cos \varphi_1 (-)$	n (ot/min)	$M(\text{Nm})$	$P_2(\text{W})$	$s(\%)$	$\eta(\%)$
400,04	18,64	10732	0,8309	1459	61,35	9386	2,73	87,46
400,02	16,96	9679	0,8237	1464	56,31	8645	2,40	89,31
400,02	14,93	8358	0,8080	1469	48,75	7510	2,07	89,85
399,98	11,84	6225	0,7589	1478	36,28	5623	1,47	90,33
400,02	9,29	4201	0,6527	1485	24,15	3761	1,00	89,52
400,02	7,27	2228	0,4423	1492	12,72	1990	0,53	89,32

Příklad výpočtu:

Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} = \frac{10732}{\sqrt{3} \cdot 400,04 \cdot 18,64} = 0,8309$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60} = 61,35 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1459}{60} = 9386 \text{ W}$$

Synchronní otáčky

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ ot/min}$$

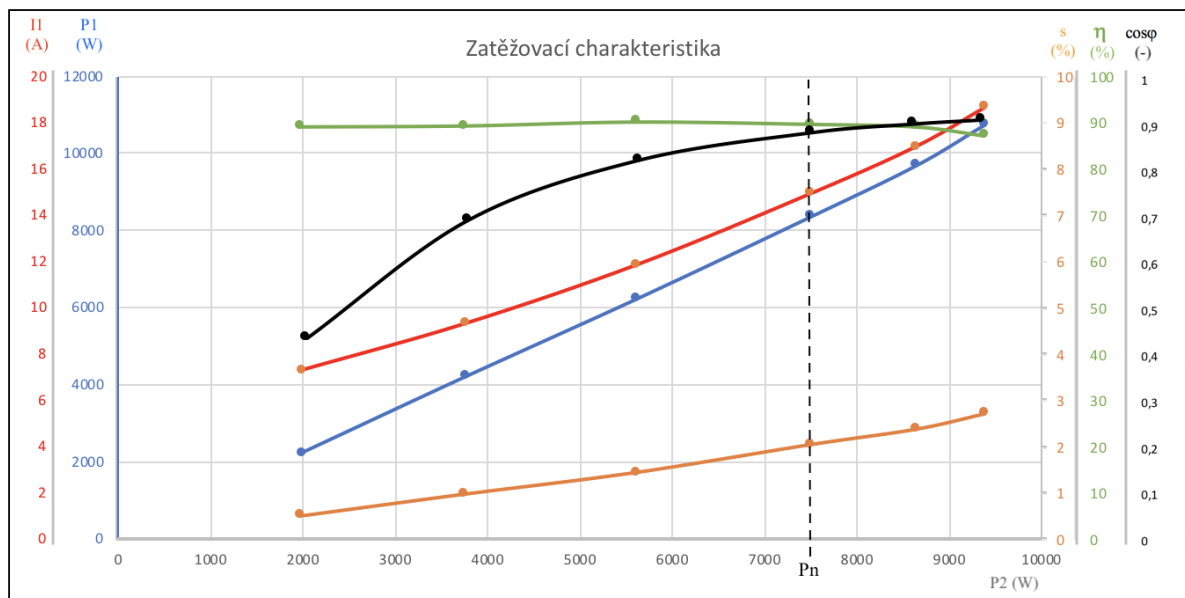
Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1459}{1500} \cdot 100 = 2,73\%$$

Účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{9386}{10732} \cdot 100 = 87,46\%$$

Grafy:



Veličina	I_n (A)	s_n (%)	η_n (%)	$\cos\phi_n$ (-)
Hodnota na štítku	14,7	2,33	88,7	0,83
Naměřená hodnota	14,5	2,3	89	0,88

Závěr:

Při měření zatěžovacích charakteristik asynchronního motoru jsem z naměřených hodnot vykreslil zatěžovací charakteristiku a porovnal hodnoty udané na štítku pro jmenovitý výkon. Hodnoty na štítku stroje a naměřené hodnoty byly téměř shodné. Vzniklé nepřesnosti byly způsobeny nepřesným odečtením hodnot z grafu.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_1(\text{V})$	$I_1(\text{A})$	$P_1(\text{W})$	$\cos \varphi_1(-)$	n (ot/min)	$M(\text{Nm})$	$P_2(\text{W})$	$s(\%)$	$\eta(\%)$
300,28	11,66	5154	0,850	1465	29,81	4573	2,33	88,73
320,33	11,05	5131	0,837	1470	29,81	4589	2,00	89,43
340,04	10,62	5118	0,818	1474	29,81	4601	1,73	89,91
360,36	10,35	5118	0,792	1477	29,81	4611	1,53	90,09
380,14	10,27	5125	0,758	1480	29,82	4622	1,33	90,18
400,47	10,42	5147	0,712	1482	29,83	4629	1,20	89,94
420,17	10,87	5180	0,655	1484	29,81	4633	1,07	89,43
440,55	11,81	5242	0,582	1485	29,82	4637	1,00	88,46
460,19	13,30	5334	0,503	1486	29,81	4639	0,93	86,97
480,40	15,49	5480	0,425	1487	29,81	4642	0,87	84,71
501,13	18,48	5711	0,356	1488	29,84	4650	0,80	81,42

Příklad výpočtu:

Účinník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} = \frac{5154}{\sqrt{3} \cdot 300,28 \cdot 11,66} = 0,850$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60} = 29,81 \cdot \frac{2 \cdot \pi 1465}{60} = 4573 \text{ W}$$

Synchronní otáčky

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ ot/min}$$

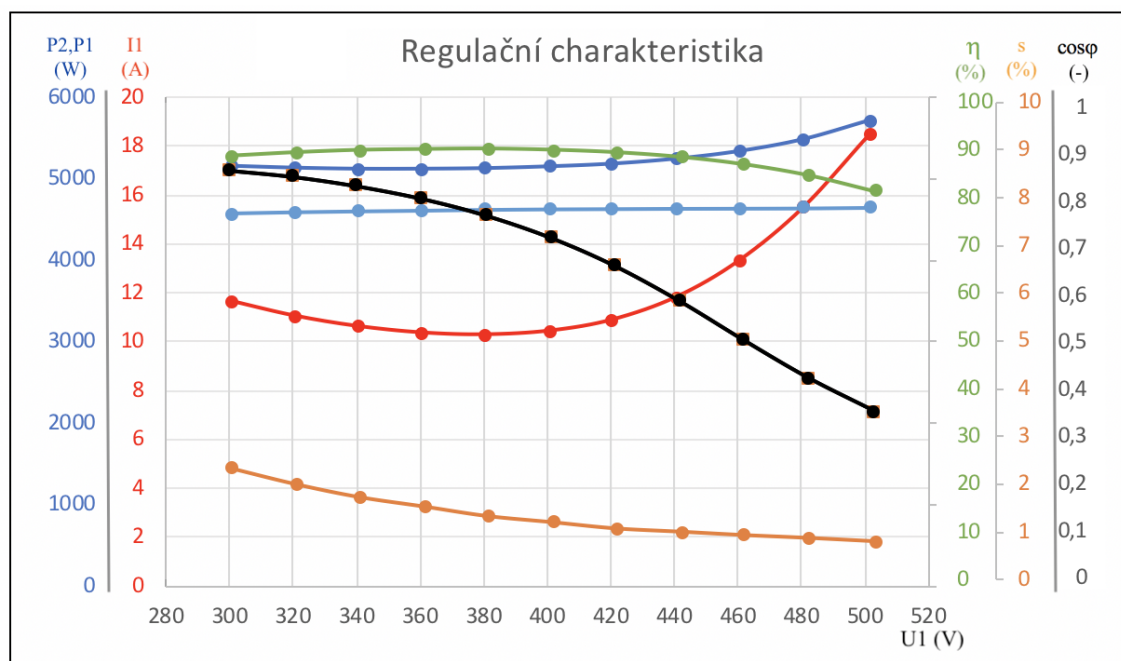
Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1465}{1500} \cdot 100 = 2,33\%$$

Účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{4573}{5154} \cdot 100 = 88,73\%$$

Grafy:



Závěr:

Při měření regulačních charakteristik asynchronního motoru jsem z naměřených hodnot sestrojil graf regulačních charakteristik. Z charakteristik vidíme, že při zvýšení napětí nad jmenovitou hodnotu začne prudce stoupat statorový proud a klesat účinnost a účiník stroje.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

U_1 (V)	I_1 (A)	M_{nam} (Nm)	n (ot/min)	M_{vyp} (Nm)
199,95	2,54	1,00	1491	4
199,98	13,43	20,64	1406	82,56
199,89	23,52	28,17	1308	112,68
199,75	28,92	27,05	1203	108,2
199,97	31,74	24,86	1107	99,44
200,07	33,72	22,60	1003	90,4
200,02	34,99	20,97	907	83,88
200,01	36,02	19,69	806	78,76
200,01	36,85	18,67	705	74,68
200,03	37,58	17,79	604	71,16
200,03	38,24	16,86	507	67,44

Příklad výpočtu:

Přepočet momentu na jmenovitou hladinu napětí:

$$M_{vyp} = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \cdot M_{nam} = \left(\frac{400}{200}\right)^2 \cdot 22,6 = 90,4 Nm$$

Jmenovitý moment stroje:

$$M_n = \frac{P_N}{\omega_n} = \frac{P_N}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60}} = \frac{7500}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 1465}{60}} = 48,89 Nm$$

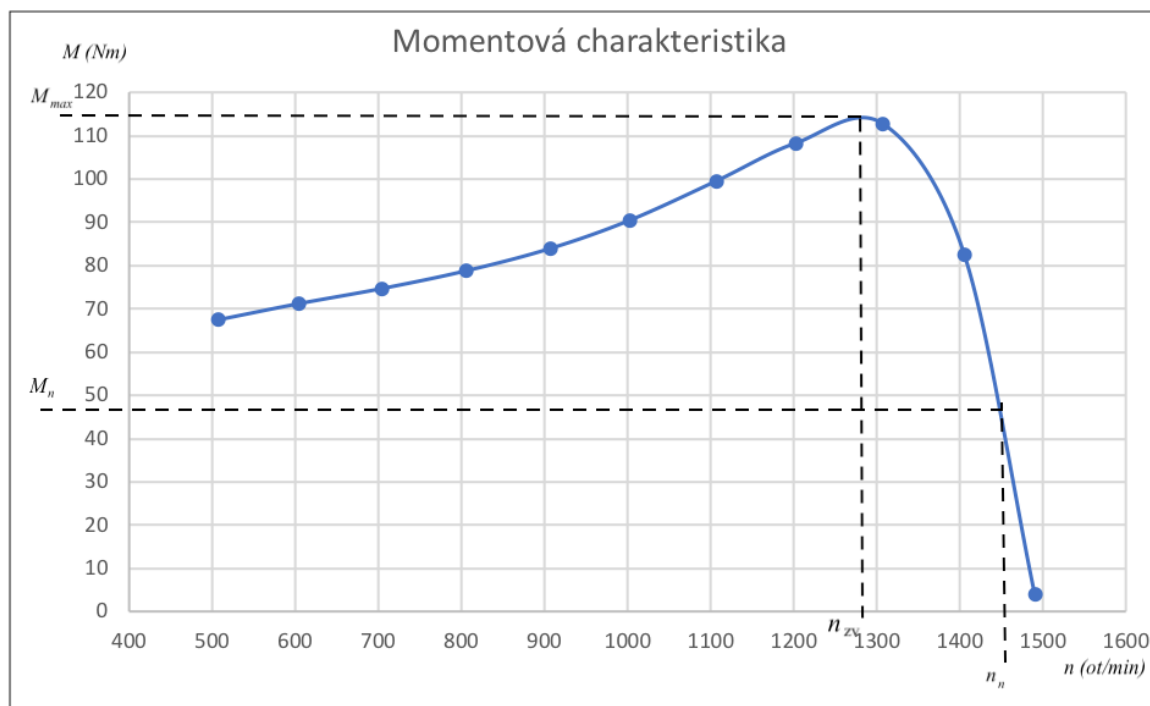
Skluz zvratu:

$$s_{zv} = \frac{n_{s1} - n_{zv}}{n_{s1}} \cdot 100 = \frac{1500 - 1290}{1500} \cdot 100 = 14\%$$

Maximální moment odečtený z grafu

$$M_{max} = 114 Nm$$

Grafy:



Závěr:

Při měření zatěžovací zkoušky pro vykreslení momentové charakteristiky jsem zkoušku provedl pro snížené napětí, takže jsem nejprve musel provést přepočít momentu pro jmenovité napětí. Poté jsem sestrojil graf a odečetl maximální moment (moment zvratu) $M_{\max} = 114 \text{ Nm}$ a vypočetl skluz zvratu $s_{zv} = 14 \%$.

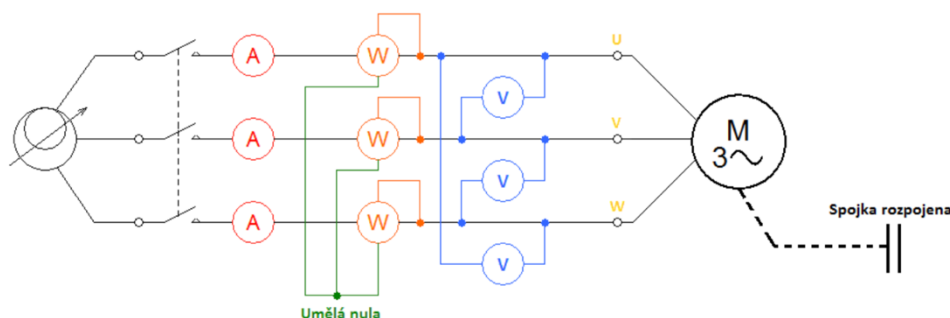
Měření asynchronního motoru naprázdno

Měřením naprázdno se zjišťuje proud, ztráty a účinník naprázdno v závislosti na napájecím napětí. Výpočtem se získají konstantní ztráty, které se skládají ze ztrát v železe a mechanických ztrát. Dále se vypočte procentuální proud naprázdno při jmenovitém napětí.

Zadání:

1. Proved'te měření asynchronního motoru ve stavu naprázdno.
2. Vypočtete účinník naprázdno, ztráty ve satorovém vinutí naprázdno a konstantní ztráty.
3. Z naměřených hodnot vyneste grafickou závislost ztrát naprázdno, proudu naprázdno, účinníku naprázdno na napětí naprázdno.
4. Z charakteristiky určete procentuální proud naprázdno a určete mechanické ztráty.
5. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Měření se provádí bez zatížení motoru se skluzem blížícím se k nule. Po rozběhnutí se zvýší napájecí napětí na maximální hodnotu, kdy proud je roven maximálně 150 % jmenovitému. Poté se napětí postupně snižuje až na hodnotu, dokud se nezačne zvyšovat satorový proud a provádí se zápis naměřených hodnot pro alespoň 8 různých hodnot napětí. Po ukončení měření se změří odpor satorového vinutí. Měřené veličiny jsou napětí proud a příkon v každé fázi.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_{10}(\text{V})$	$I_{10}(\text{A})$	$P_{10}(\text{W})$	$\cos\varphi_{10}(-)$	$\Delta P_{j10}(\text{W})$	$\Delta P_K(\text{W})$

Příklad výpočtu:

Naměřený odpor mezi fázemi

$$R_{12} =$$

$$R_{13} =$$

$$R_{23} =$$

Naměřený průměrný odpor mezi fázemi

$$R_{IIm} = \frac{R_{12} + R_{13} + R_{23}}{3} =$$

Odpor statorového vinutí jedné fáze

$$R_{s25} = \frac{1}{2} \cdot R_{IIm} =$$

Účinník

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{\sqrt{3} \cdot U_{10} \cdot I_{10}} =$$

Ztráty ve statorovém vinutí

$$\Delta P_{j10} = 3 \cdot I_{10}^2 \cdot R_{s25} =$$

Konstantní ztráty

$$\Delta P_K = P_{10} - \Delta P_{j10} =$$

Mechanické ztráty určené jako průsečík extrapolované křivky ztrát s osou výkonu

$$\Delta P_{mech} =$$

Ztráty v železe

$$\Delta P_{fe} = \Delta P_K - \Delta P_{mech} =$$

Procentuální proud naprázdno

$$i_0 = \frac{I_0}{I_N} \cdot 100 =$$

Grafy:

Závěr:

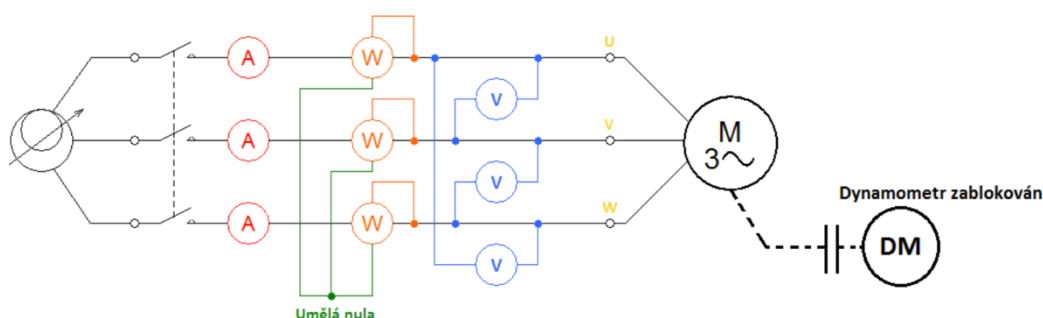
Měření asynchronního motoru nakrátko

Měřením nakrátko se zjišťuje proud, ztráty a účinník nakrátko v závislosti na napájecím napětí. Z vykreslených charakteristik se určuje procentuální napětí nakrátko a proud nakrátko při jmenovitém napětí.

Zadání:

1. Proved'te měření asynchronního motoru ve stavu nakrátko.
2. Z naměřených hodnot vynesete grafickou závislost ztrát nakrátko, proudu nakrátko, účinníku nakrátko na napětí nakrátko.
3. Z charakteristik určete procentuální napětí nakrátko a vypočtete proud nakrátko při jmenovitém napětí.
4. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Měření se provádí při zabrzděné hřídeli, která se upevní speciálním čepem. Na svorky statorového vinutí se nejprve přiloží nízké napětí s jmenovitým kmitočtem. Poté se napětí co nejrychleji zvýší na hodnotu, kdy proud je roven 150 % jmenovitého proudu. Následně se zapíše naměřené hodnoty a motor se ihned vypne. Tento postup se opakuje pro alespoň 8 hodnot napětí rovnoměrně rozložených od 150 % do 10 % jmenovitého proudu. Měření musí být provedeno co nejrychleji. Měřené veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_{1k}(V)$	$I_{1k}(A)$	$P_{1k}(W)$	$\cos\varphi_{1k}(-)$

Příklad výpočtu:

Účinník

$$\cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{\sqrt{3} \cdot U_{1k} \cdot I_{1k}} =$$

Proud nakrátko při jmenovitém napětí

$$I_{KN} = I_k \cdot \frac{U_N}{U_K} =$$

Procentuální napětí nakrátko

$$u_k = \frac{U_k}{U_{kn}} \cdot 100 =$$

Grafy:

Závěr:

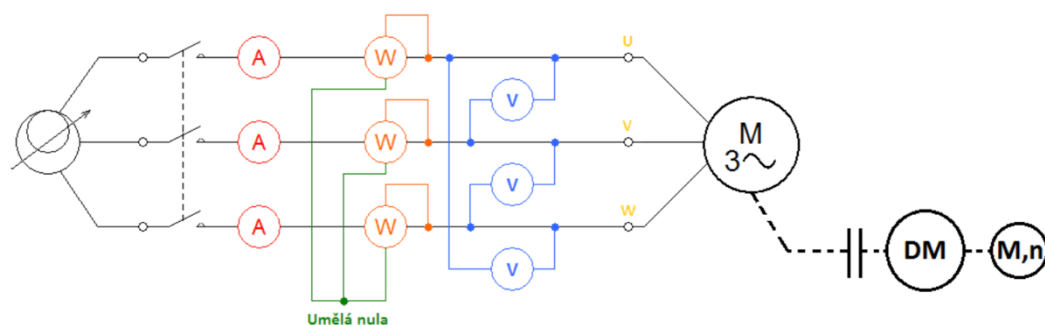
Měření zatěžovacích charakteristik asynchronního motoru

Měřením zatěžovacích charakteristik se provádí kontrola účinnosti, účinníku a skluzu, které jsou uvedené na štítku stroje.

Zadání:

1. Proveďte měření zatěžovacích charakteristik asynchronního motoru.
2. Vypočtete účiník, mechanický výkon, skluz a účinnost pro měřené napětí.
3. Z naměřených hodnot vynesete grafickou závislost proudu, příkonu, účinníku, skluzu a účinnosti v závislosti na mechanickém výkonu.
4. Porovnejte hodnoty na štítku stroje s naměřenými hodnotami.
5. Proveďte vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Na motor se nejprve přivede napětí, které se při měření udržuje po celou dobu konstantní. Poté se motor zatíží na 110 % jmenovitého zatížení a postupně se zatížení snižuje až do chodu naprázdno. Měří se alespoň 8 hodnot pro různé hodnoty zatížení. Měřené elektrické veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou aktuální moment a otáčky. Pokud je nastavené napětí jiné než jmenovité, musí se provést přepočet naměřených hodnot.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_1(\text{V})$	$I_1(\text{A})$	$P_1(\text{W})$	$\cos \varphi_1(-)$	$n(\text{ot/min})$	$M(\text{Nm})$	$s(\%)$	$\eta(\%)$

Příklad výpočtu:

Účíník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} =$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60} =$$

Synchronní otáčky

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} =$$

Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 =$$

Účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 =$$

Grafy:

Závěr:

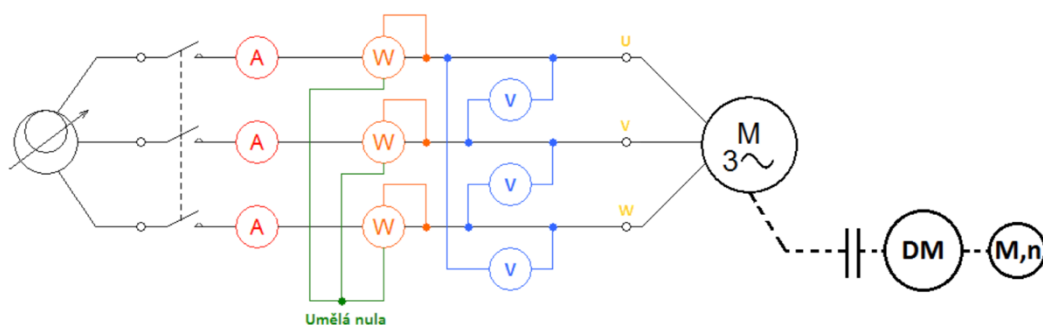
Měření regulačních charakteristik asynchronního motoru

Měřením regulačních charakteristik se provádí kontrola účinnosti, účinníku a skluzu, které jsou uvedené na štítku stroje.

Zadání:

1. Proved'te měření regulačních charakteristik asynchronního motoru.
2. Vypočtete účiník, mechanický výkon, skluz a účinnost pro měřené napětí.
3. Z naměřených hodnot vyneste grafickou závislost proudu, příkonu, účinníku, skluzu a účinnosti v závislosti na mechanickém výkonu.
4. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:



Postup měření:

Nejprve se na motor přivede napětí o velikosti 75 % jmenovitého. Poté se motor zatíží na požadovaný moment, který se udržuje po dobu měření konstantní. Napětí se postupně zvyšuje, až do hodnoty 125 % jmenovitého napětí motoru. Zapisuje se postupně alespoň 8 hodnot pro jednotlivé hodnoty napětí. Měřené elektrické veličiny jsou napětí proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou otáčky a moment.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

$U_1(\text{V})$	$I_1(\text{A})$	$P_1(\text{W})$	$\cos \varphi_1(-)$	$n(\text{ot/min})$	$M(\text{Nm})$	$s(\%)$	$\eta(\%)$

Příklad výpočtu:

Účíník

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} =$$

Výkon

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi n}{60} =$$

Synchronní otáčky

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f}{p} =$$

Skluz

$$s = \frac{n_{s1} - n}{n_{s1}} \cdot 100 =$$

Účinnost

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 =$$

Grafy:

Závěr:

Měření momentové charakteristiky asynchronního motoru

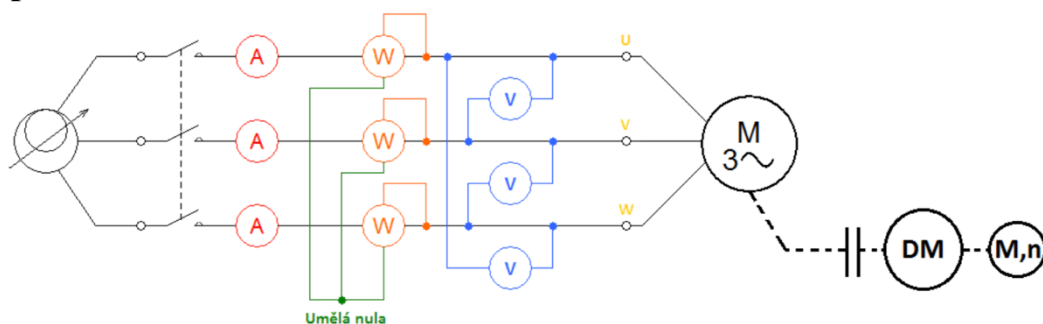
Měřením momentové charakteristiky se při konstantním napětí zjišťuje závislost momentu na otáčkách a z grafu se určuje velikost maximálního momentu (momentu zvratu) a velikost skluzu zvratu.

Zadání:

1. Proved'te měření momentové charakteristiky asynchronního motoru.
2. Přepočtete moment pro jmenovitou hladinu napětí.
3. Z naměřených hodnot vyneste grafickou závislost momentu na otáčkách a do grafu zakreslete maximální a jmenovitý moment stroje.
4. Vypočtete hodnotu skluzu zvratu.
5. Proved'te vyhodnocení měření.

Schéma zapojení:

Postup měření:



Nejprve na motor přivedeme napětí, pro které budeme chtít momentovou charakteristiku naměřit. Poté se motor roztočí naprázdno a postupně se mu začnou otáčky snižovat, až na koncové otáčky. Zkouška se provádí pro snížené napětí, a proto je nutný přepočet momentu na jmenovitou hodnotu. Měřené elektrické veličiny jsou napětí, proud a příkon v každé fázi a měřené mechanické veličiny jsou otáčky a moment.

Tabulka naměřených a vypočtených hodnot:

U_1 (V)	I_1 (A)	M_{nam} (Nm)	n (ot/min)	M_{vyp} (Nm)

Příklad výpočtu:

Přepočet momentu na jmenovitou hladinu napětí:

$$M_{vyp} = \left(\frac{U_N}{U}\right)^2 \cdot M_{nam} =$$

Jmenovitý moment stroje:

$$M_n = \frac{P_N}{\omega_n} = \frac{P_N}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60}} =$$

Skluz zvratu:

$$s_{zv} = \frac{n_{s1} - n_{zv}}{n_{s1}} \cdot 100 =$$

Grafy:

Závěr: